

Contribution aux stratégies préventives de lésions musculaires et ligamentaires des membres inférieurs chez le sportif

Muscle and ligament sports injuries: contribution to preventive strategies applied to the lower limb

**Thèse de doctorat présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences de la Motricité**

Promoteur : Professeur Jean-Louis Croisier (Université de Liège)

Président du Jury : Professeur Jean-François Kaux (Université de Liège)

Membres du Jury :

- Professeur Olivier Bruyère (Université de Liège)
- Professeur Thierry Bury (Université de Liège)
- Professeur Pascal Edouard (Université Jean Monnet, Saint-Etienne)
- Professeur Philippe Gillet (Université de Liège)
- Professeur Koen Peers (Katholieke Universiteit Leuven)
- Docteur Cédric Schwartz (Université de Liège)

« *La vraie science est une ignorance qui se sait* »

Michel de Montaigne

REMERCIEMENTS

***S**i une thèse de doctorat peut sembler un exercice très personnel, elle est pourtant le fruit d'un travail éminemment collectif. Par ces quelques mots, je souhaiterais remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à façonner ce travail.*

Mes premiers remerciements s'adressent naturellement au Professeur Jean-Louis Croisier, promoteur de cette thèse. Merci pour cette immense aventure, tant professionnelle qu'humaine ! Nos passionnantes discussions sur la recherche scientifique ont toujours été alimentées par ton regard aiguisé d'expert clinicien, bien conscient des problématiques du terrain. Merci énormément pour ta confiance et ton soutien depuis toutes ces années passées...et pour toutes celles à venir je l'espère.

Je voudrais remercier particulièrement trois personnes que je qualifierais de « décisives » pour cette thèse : le Docteur Cédric Schwartz, le Professeur Jean-François Kaux et le Professeur Olivier Bruyère. Outre vos qualités professionnelles indiscutables qui m'ont permis de m'éveiller au monde scientifique, je souligne le très grand plaisir à côtoyer des personnes aux qualités humaines telles que les vôtres...merci à vous !

Je remercie vivement les Professeurs Thierry Bury et Philippe Gillet pour le temps et l'énergie consacrés à la lecture de manuscrit. C'est également un très grand honneur que de pouvoir compter sur le Professeur Pascal Edouard et le Professeur Koen Peers en tant que membres externes du jury. Votre expertise scientifique, largement attestée par de nombreuses publications dans des revues prestigieuses, m'apporte une réelle fierté de vous compter dans ce jury.

Je souhaite témoigner ma profonde gratitude aux co-auteurs des différentes études composant ce manuscrit. Par votre contribution, vous avez tissé autant d'éléments indispensables à la bonne réalisation de ces travaux. Merci donc à vous tous : Professeur Jean-Yves Reginster, Professeur Romain Seil, Professeur Bénédicte Forthomme, Docteur Christophe Daniel, Docteur Pierre Diverse, Docteur Nadia Dardenne, Docteur Stephen Bornheim, Guillaume Bourlet, Gilles Berwart, Jean-Louis Losfeld, Xavier Donnay, Thierry Siquet, Daniel Boccar, Thibault Decréquy, Thibault Devalckeneer, Julien Paulus, Carlos Rodriguez. J'ai également une pensée émue pour le Professeur Rochcongar, qui nous avait fait l'honneur de nous accorder sa confiance et partager son immense expertise, rendant ainsi possibles les études sur le football professionnel en France.

Merci à mes collègues de l'ISEPK (Christophe, Marc, Sébastien, Stéphanie, Clara, David, Pierre, Isabelle, Camille, Amandine, Didier, Annie, Annette, Steve) pour l'atmosphère chaleureuse et constructive que nous partageons au quotidien ; par ce biais vous avez également largement contribué à la bonne réalisation de ce travail. Merci particulier à Annie pour son aide précieuse à la mise en page de l'ensemble des documents et figures. En termes d'ambiance de travail, je tiens à souligner également l'immense plaisir à collaborer avec tous mes collègues de Réathlétisation et de Kinésithérapie du CHU de Liège ainsi que des fédérations de badminton et handball.

Mes derniers mots iront à mes proches. J'ai toujours considéré que l'élément dont je pouvais être le plus reconnaissant dans ma vie était de naître et grandir dans un environnement familial bienveillant. Merci donc à mes parents pour l'amour et l'éducation que vous m'avez apportés, j'en mesure tous les jours la chance. Très récemment, vos relectures patientes et minutieuses, associées à celles d'Anne-Catherine que je remercie grandement, m'ont été d'une aide précieuse. Merci aussi à mes frères Benoît et Jean-Marc pour votre soutien durant ces années.

Merci infiniment à mon épouse Anne-Sophie pour ton écoute, ton soutien sans faille et ta patience depuis tout ce temps, rien n'aurait été possible sans toi. Une vie sans amour c'est une vie sans soleil...et ce soleil radieux est mon compagnon permanent.

Enfin, pour clôturer, je ne pourrais jamais remercier autant que je le voudrais Simon, Hugo et Maxime, vous qui me faites me sentir chaque jour comme le plus heureux et fier des pères.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	1
Summary	4
Liste des abréviations	6
Préface	9
Introduction générale	11
1. Rationnel justifiant la recherche sur la prévention lésionnelle	13
2. Modèles théoriques de prévention lésionnelle	20
3. Rationnel, contours et objectifs de la thèse	29
Contribution personnelle	41
Chapitre I – La prévention lésionnelle vécue par les acteurs de terrain	43
1. Critères de retour au sport après lésion musculaire des ischio-jambiers : analyse des démarches utilisées dans le football professionnel	45
2. Retour au sport après plastie du ligament croisé antérieur : critères utilisés dans les clubs professionnels de football	65
3. Stratégies de prévention de blessures : les entraîneurs de football en tant qu'acteurs	87
Chapitre II - Contribution au développement de stratégies de prévention et d'optimisation du retour au sport après blessure	109
1. Influence d'un programme de terrain de renforcement des ischio-jambiers sur la force et la souplesse musculaires	111
2. Facteurs prédictifs d'un retour à la performance après plastie du ligament croisé antérieur	135

Chapitre III - Analyse critique d'évaluations de pré-saison chez le sportif élite	157
Profil en pré-saison de performances anaérobies chez le footballeur élite : comparaison de données isocinétiques et fonctionnelles	159
Discussion générale	181
1. Discussion intégrative	187
2. Implications pratiques et cliniques	194
3. Limitations	201
4. Perspectives de futures recherches	204
Conclusion	219
Publications et communications.....	223
À propos de l'auteur	230
Annexes	231

RÉSUMÉ

La thématique de la recherche sur la prévention des blessures liées au sport est devenue une préoccupation majeure dans le domaine des sciences et de la médecine du sport. En quelques années, le nombre et la qualité des études sur le sujet ont fortement progressé. Malgré cette évolution positive en termes de recherche, force est de constater que l'incidence et la sévérité lésionnelle de nombreuses blessures sportives ne semblent pas diminuer. Ce constat justifie pleinement l'importance de continuer à améliorer l'efficacité de stratégies préventives via le développement de recherches novatrices. Cette thèse, qui s'intéresse en particulier aux lésions ligamentaires et musculaires du membre inférieur, vise à contribuer aux démarches de préventions ainsi qu'à apporter des éléments de réponses aux problématiques spécifiques de ce domaine. Notre contribution personnelle s'est articulée selon six études réparties en trois chapitres.

Le **chapitre I** a exploré **la prévention lésionnelle vécue par les acteurs de terrain**. En particulier, les études 1 et 2 ont analysé les démarches suivies par 37 médecins de clubs professionnels de football lorsqu'ils décident, en pratique quotidienne, d'autoriser le retour compétitif après plastie du ligament croisé antérieur (LCA) ou d'une lésion musculaire des ischio-jambiers (IJ) chez un footballeur. Si de nombreux critères pertinents de retour sur terrain semblent pris en compte par ces médecins, un manque de consensus est observé à propos des modalités pratiques, des paramètres d'évaluation et des valeurs-limites tolérées afin de garantir un retour sur terrain optimal. Une meilleure prise en considération de ces paramètres d'évaluation et des valeurs-limites proposés par la littérature scientifique devrait aider les praticiens dans leurs décisions d'autoriser la reprise compétitive après blessure. Dans ce contexte, les avis du kinésithérapeute et du préparateur physique, demandés par une large majorité des médecins sondés, a également souligné l'importance d'une concertation pluridisciplinaire. La troisième étude s'est intéressée aux entraîneurs belges francophones de football (tous niveaux confondus ; n=313), en particulier sur la manière dont ceux-ci maîtrisent et élaborent les stratégies de prévention de blessures au quotidien avec leurs sportifs. Parmi ceux-ci, nous avons mis en lumière une grande variabilité des connaissances, perceptions et modalités d'application de mesures préventives. Plus le niveau de formation de l'entraîneur ou

le niveau de jeu de l'équipe entraînée apparaissait élevé, plus la démarche préventive semblait structurée et maîtrisée. Par ailleurs, les recommandations d'applications concrètes sur le terrain de programmes préventifs à l'efficacité démontrée comme le programme *FIFA 11+* ne sont réellement suivies que par une minorité d'entraîneurs. Ainsi, les mesures de prévention lésionnelle n'apparaissent pas appliquées de manière suffisante sur les terrains de football belges.

Par le **chapitre II**, nous avons apporté une **contribution au développement de stratégies de prévention et d'optimisation du retour au sport après blessure**. L'étude 4 a permis de démontrer, via un essai randomisé contrôlé sur 27 sportifs amateurs sains, qu'un programme excentrique d'une durée de 6 semaines, composé de 4 exercices progressifs de renforcement des IJ représentait une méthode efficace pour améliorer significativement la force musculaire excentrique et surtout la souplesse passive de ces muscles. Étant donné que les déséquilibres musculaires et le manque de souplesse sont fréquemment cités comme facteurs de risque de lésion musculaire des IJ, ce programme pourrait s'avérer utile dans le cadre d'une stratégie de prévention lésionnelle parmi les populations à risque élevé de blessures (ex : sprint, football). De plus, l'absence de matériel requis rend son implémentation dans un contexte réel d'entraînement particulièrement abordable, notamment chez des sportifs amateurs. La cinquième étude, réalisée sur une cohorte de 59 patients opérés d'une plastie du LCA a permis de déterminer que les sujets qui ont atteint, dans les deux années post chirurgie, un niveau de performance identique à la période d'avant blessure présentaient de meilleures performances lors d'une batterie de tests (distance supérieure au single hop test, scores supérieurs aux questionnaires KOOS et ACL-RSI, différences bilatérales de force inférieures) réalisée 6 mois après la plastie. Le seul facteur prédictif de retour à la performance était le score ACL-RSI (OR 1.70; $p=0.010$) avec un indice de Youden de 65 points et de hautes valeurs de sensibilité et spécificité. Dès lors, le ressenti psychologique (craintes, émotions, risque estimé de récurrence), évalué 6 mois après reconstruction du LCA via le questionnaire ACL-RSI, représenterait le facteur le plus prédictif de retour à la performance similaire au niveau pré-lésionnel dans les deux années consécutives à la chirurgie.

Enfin, le **chapitre III**, une **analyse critique d'évaluations de pré-saison chez le sportif élite**, a investigué les potentielles associations entre la force isocinétique et les performances de sauts verticaux et horizontaux parmi une population de 38 footballeurs professionnels (étude 6). Aucune corrélation n'a été observée entre les données isocinétiques et de sauts, mais les joueurs présentant une faible qualité de force relative du quadriceps ont, pour une majorité des variables de sauts, réalisé des performances de sauts inférieures comparativement aux joueurs à qualité de force relative élevée. Il apparaît donc utile de normaliser les valeurs de moments de force maximale déterminées en isocinétisme par rapport au poids de l'individu. Par ailleurs, parmi les joueurs avec antécédent significatif de blessures, les plus grandes différences bilatérales entre le côté blessé antérieurement et le côté sain ont été mises en évidence via l'isocinétisme, par comparaison aux épreuves de sauts. Selon ces résultats, l'implémentation d'une évaluation isocinétique en période de pré-saison chez des footballeurs professionnels apparaît justifiée ; une normalisation des valeurs de moments de force maximale par rapport au poids de l'individu peut également fournir des informations utiles.

SUMMARY

Sport injury prevention research has become a major concern in the field of sport science and medicine. In just a few years, the number and quality of studies on the subject have increased significantly. Despite this positive development in terms of research, it is clear that the incidence, and severity of many sports injuries does not seem to be decreasing. This observation fully justifies the importance of continuing to improve the effectiveness of preventive strategies through the development of innovative research. This thesis, which focuses in particular on ligament and muscle injuries of the lower limb, aims to contribute to preventive approaches as well as to provide details in response to the specific problems of this field. Our personal contribution is based on six studies divided into three chapters.

Chapter I explored the **injury prevention experienced by the actors in the sports field**. In particular, studies 1 and 2 analyzed the procedure followed by 37 doctors from professional soccer clubs when they decide, in daily practice, to authorize return to competition after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction or a hamstring muscle injury (HMI) in soccer players. While many relevant criteria for return to competition seem to be taken into account by these physicians, there is a lack of consensus on the practical modalities, evaluation parameters and tolerated limit values to ensure optimal return to competitive sport. A better consideration of these evaluation parameters and the limit values proposed by the scientific literature should help practitioners in their decisions to allow participants to return to competition after injury. In this context, the opinions of the physiotherapist and the physical trainer, requested by a large majority of the physicians surveyed, also underline the importance of multidisciplinary work. The third study focused on French-speaking Belgian soccer coaches (all levels; n=313), in particular on how they implement injury prevention strategies on a daily basis with their athletes. Among them, we have highlighted a great variability in knowledge, perceptions and modalities of application of preventive measures. It appeared that the higher the level of training of the coach or the level of play of the team being coached, the more structured and controlled the preventive approach. Furthermore, recommendations for practical applications in the field of preventive programs with proven effectiveness, such as the *FIFA 11+* program, were only applied by a minority of coaches. Thus, injury prevention measures do not appear to be sufficiently applied on Belgian soccer pitches.

In **chapter II**, we contributed to the **development of strategies for prevention and optimisation of the return to sport after injury**. Study 4 demonstrated, via a randomized controlled trial on 27 healthy amateur athletes, that a 6-week eccentric program consisting of 4 progressive hamstring strengthening exercises was an effective method for significantly improving eccentric muscle strength, especially the passive flexibility of these muscles. Since muscle imbalances and lack of flexibility are frequently described as risk factors for hamstring muscle injury, this program could be useful as part of an injury prevention strategy among populations at high risk of injury (such as sprinters or soccer players). In addition, its implementation in a real-world training setting is made particularly affordable, especially among amateur athletes, by not requiring equipment. The fifth study, carried out on a cohort of 59 ACL-reconstructed patients, determined that subjects who achieved, in a two-year period after surgery, a level of sport performance identical to the pre-injury period showed better performances in a battery of tests (superior distance in the single hop test, higher scores on the KOOS and ACL-RSI questionnaires, lower bilateral differences in strength performances) carried out 6 months after surgery. The only predictive factor of return to performance was the ACL-RSI score (OR 1.70; $p=0.010$) with a Youden index of 65 points and high values of sensitivity and specificity. Therefore, psychological feelings (fears, emotions, estimated risk of recurrence) assessed 6 months after ACL reconstruction using the ACL-RSI questionnaire, would represent the best predictor of return to performance.

Finally, **chapter III**, a **critical analysis of pre-season evaluations in elite athletes**, investigated the potential associations between isokinetic strength and vertical and horizontal jump performances among a population of 38 professional footballers (Study 6). No correlation was observed between the isokinetic and jump data, but players with low bodyweight normalized (BWN) quadriceps strength achieved lower jump performances on a majority of the jump variables compared to players with high BWN strength. Therefore, it appears useful to normalize the peak torques determined by isokinetic evaluation with respect to the individual's body weight. Furthermore, among players with a significant history of injury, the greatest bilateral differences between the previously injured side and the healthy side was demonstrated via isokinetics, compared to the jumping tests. According to these results, the implementation of a pre-season isokinetic evaluation in professional soccer players appears justified; a normalization peak torques with respect to body weight may also provide useful information.

Liste des abréviations

AA	Axe Antérieur
AAM	Amplitudes Articulaires Maximales
ABA	Aucune Blessure Antérieure
ACFF	Association des Clubs Francophones (belges) de Football
ACL-RSI	Anterior Cruciate Ligament – Return to Sport after Injury
AG	Askling's Glider
ANOVA	Analyse de la Variance
APL	Axe Postéro-Latéral
APM	Axe Postéro-Médial
ARS	Activity Rating Scale
AUC	Area Under the Curve
BA	Blessure Antérieure
CD	Côté Dominant
cm	Centimètre
CMJ	CounterMovement Jump
CMJU	CounterMovement Jump Unilatéral
CND	Côté Non Dominant
CON	Concentrique
CONSORT	CONsolidated Standards Of Reporting Trials
DIDT	Droit Interne Demi Tendineux
DJ	Drop Jump
DJU	Drop Jump Unilatéral
EJT	Élévation Jambe Tendue
EMG	ÉlectroMyoGraphie
ERC	Essai Randomisé Contrôlé
ET	Erreur Typique
EXC	Excentrique
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
GC	Groupe Contrôle
GI	Groupe Intervention
GRS	Global Rating Score
H-test	Hamstring-test
Hz	Hertz
IJ	Ischio-Jambiers
IS	Indice de Symétrie
IOC	International Olympic Committee
kg	kilogramme
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

KOS-ADLS	Knee Outcome Survey – Activities of Daily Living Scale
LCA	Ligament Croisé Antérieur
LESS	Landing Error Scoring System
LIJ	Lésion musculaire des Ischio-Jambiers
LMI	Longueur du Membre Inférieur
MFM	Moment de Force Maximale
MLS	Major League Soccer
NBA	National Basketball Association
NFL	National Football League
NHE	Nordic Hamstring Exercise
NHL	National Hockey League
N	Newton
N.m	Newton-mètre
NRP	Non Retour à la performance
OR	Odds Ratio
PLCA	Plastie du Ligament Croisé Antérieur
PROMs	Patient-Reported Outcome Measures
Q	Quadriceps
QCM	Questions à Choix Multiples
QFR	Qualité de Force Relative
ROC	Receiving Operating Characteristic
RP	Retour à la performance
RST	Retour Sur Terrain
s	Seconde
SD	Écart-Type
SH	Single Hop test
SIRSI	Shoulder Instability – Return to Sport after Injury
SLE	Slide Leg Exercise
SLRD	Single-Leg Roman Deadlift
StARRT	Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance framework for return-to-play decision-making
TCH	Triple Crossover Hop test
TH	Triple Hop test
TIP	Team-sport Injury Prevention
TRIPP	Translation Research into Injury Prevention Practice
UEFA	Union of European Football Associations
W	Watt
YBT	Y Balance Test

PREFACE

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, la prévention correspond à « l'ensemble des mesures visant à éviter ou réduire le nombre et la gravité des maladies, des accidents et des handicaps » [1]. Adaptée au contexte sportif, nous pourrions proposer une définition de la prévention lésionnelle comme « l'ensemble des mesures mises en œuvre dans l'objectif d'éviter ou de réduire le nombre et la gravité des blessures liées à la pratique du sport ». Ce concept de prévention de blessures sportives a fortement évolué dans le temps. Depuis la simple recommandation d'un bon échauffement avant la pratique sportive, se sont progressivement développées des stratégies préventives structurées nécessitant parfois logistique, moyens financiers et compétences humaines importantes. Cette évolution positive résulte essentiellement du fait que le monde scientifique s'est progressivement emparé du sujet et, en quelques décennies, la prévention lésionnelle est passée d'une absence relative d'intérêt à une préoccupation majeure dans le domaine des sciences et de la médecine du sport. À titre d'exemple, le nombre de publications sur cette thématique durant les cinq dernières années représente le double des cinq années précédentes et plus du triple des cinq années antérieures. Après les Jeux Olympiques et les Jeux Olympiques de la Jeunesse, le troisième événement par ordre d'importance organisé par le Comité International Olympique est la *IOC World Conference on Prevention of Injury in Sport* consacrée exclusivement à la prévention des blessures dans le sport.

Les scientifiques travaillant dans le domaine de la prévention lésionnelle cherchent en fait à apporter des réponses aux questions, légitimes, systématiquement posées par les sportifs et leur entourage :

- Suis-je susceptible de me blesser en pratiquant mon sport ?
- Comment puis-je éviter de me blesser ?
- Quand pourrai-je pratiquer de nouveau mon sport après ma blessure ?
- Comment puis-je éviter de me re-blesser ?

Malgré la pléthore d'études traitant le sujet de la prévention lésionnelle, force est de constater que l'augmentation de l'incidence lésionnelle de certaines pathologies devrait plutôt nous pousser à l'humilité et à redoubler d'efforts. En particulier, certaines problématiques semblent loin d'être résolues à l'heure actuelle, même en ce qui concerne la prévention de pathologies largement étudiées comme les ruptures du ligament croisé antérieur ou les lésions musculaires des ischio-jambiers. À titre d'exemple, nous pouvons citer les éléments suivants :

- La compréhension des mécanismes lésionnels et, plus encore, l'identification de facteurs de risque de blessure apparaissent lacunaires ;
- Les interactions entre les différents facteurs de risque lésionnels représentent un champ quasiment inexploré ;
- Le caractère réellement contributif de certains screening tests, destinés à apprécier le degré de risque lésionnel, reste encore à démontrer ;
- La mise en œuvre de bon nombre de programmes préventifs, lorsqu'ils sont appliqués dans un contexte réel, ne produit pas toujours des résultats satisfaisants ;
- Le transfert et l'implémentation des dernières connaissances scientifiques vers le terrain peut s'avérer plus complexe qu'il n'y paraît.

En résumé, l'engouement important des scientifiques pour le sujet de la prévention lésionnelle durant ces dernières années semble avoir procuré certaines réponses... mais a fait naître encore bien plus de questions. Cette thèse, qui s'intéresse en particulier aux lésions ligamentaires et musculaires du membre inférieur, vise à contribuer aux démarches de prévention ainsi qu'à apporter des éléments de réponses aux problématiques spécifiques de ce domaine.

INTRODUCTION GENERALE¹

¹ Ce chapitre est notamment basé sur les articles suivants :

F. Delvaux, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. Les lésions musculaires des membres inférieurs : facteurs de risque et stratégies préventives. Science & Sports. 2017 Sep;32(4):179-190.

F. Delvaux, J.-F. Kaux, B. Forthomme, J.-L. Croisier. La prévention des blessures sportives : modèles théoriques et éléments-clés d'une stratégie efficace. Journal de Traumatologie du Sport. 2018 Oct;35(3):152-157.

1. Rationnel justifiant la recherche sur la prévention lésionnelle

La survenue d'une blessure chez un sportif, quel que soit son niveau, impacte de manière variable la vie de ce dernier. Pour certains, les conséquences de la blessure peuvent être importantes voire dramatiques (notamment en termes de pertes de revenus financiers ou d'indisponibilité sportive prolongée), tandis que pour d'autres ces conséquences demeurent négligeables. Par ce chapitre, nous proposons une analyse des principaux arguments justifiant la recherche et le développement de stratégies préventives. Cet argumentaire sera développé essentiellement au travers des deux grandes blessures sportives étudiées dans le cadre de cette thèse de doctorat : la lésion musculaire des ischio-jambiers (LIJ) et la rupture du ligament croisé antérieur (LCA).

1.1. Incidence et sévérité des blessures : jamais l'un sans l'autre

La LIJ survient généralement lors d'une contraction des ischio-jambiers à haute intensité associée à un degré d'allongement musculaire élevé [2,3]. Typiquement, la LIJ constitue la blessure la plus fréquente dans les sports incluant des actions à vitesse de course maximale comme le football [4–12] ou l'athlétisme [13–16] ; elle apparaît également particulièrement problématique en rugby [17–19], ou encore en danse [20–22].

En football élite, 37 à 54% des blessures musculaires toucheraient les ischio-jambiers [7,23] et celles-ci représenteraient 10 à 23% des blessures totales rencontrées [7,10,11,24,25]. De manière interpellante, Ekstrand et al. ont rapporté une augmentation de l'incidence de LIJ de 4% annuellement dans le football professionnel, ce qui donne, à l'heure actuelle pour une équipe professionnelle de football de 25 joueurs, une moyenne sur une saison de 6 LIJ [8]. Dans un exercice certes périlleux mais néanmoins intéressant, Waldén [26] a extrapolé, sur base des tendances observées dans l'étude d'Ekstrand [8] et en l'absence de mesures préventives supplémentaires, qu'une équipe professionnelle de football pourrait s'attendre, en 2032, à 12 LIJ par saison. Ces chiffres, spéculatifs mais néanmoins interpellants, plaident résolument pour le développement de nouvelles avancées sur le plan de la prévention, d'autant plus lorsque

l'on prend en compte le taux de récidence susceptible d'atteindre la proportion dramatiquement élevée de plus de 30% [10,11,24,27].

Il est important de garder à l'esprit que l'incidence lésionnelle, exprimée en nombre de blessures pour 1000 heures de pratique, ne doit pas représenter le seul paramètre à prendre en compte lorsque l'on cherche à identifier les principales blessures à éviter [28]. La sévérité des blessures, évaluée indirectement via une durée d'indisponibilité sportive (en jours, semaines ou mois) devrait également être considérée comme un paramètre essentiel. À titre d'exemple, dans le football élite chez les hommes, l'incidence de rupture du LCA semble comprise entre 0.04 et 0.08 rupture pour 1000h d'exposition [29–32]. Or, cette incidence faible ne peut masquer la durée d'indisponibilité sportive particulièrement élevée après rupture du LCA (régulièrement de 6 mois ou plus) [33–36], d'autant que l'évolution actuelle des connaissances semble plaider pour un allongement de cette durée [37–39]. La figure 1 reprend les données d'incidence et de sévérité des principales blessures rencontrées dans le football professionnel européen [28], où l'on peut observer le contraste entre incidence et sévérité de la LIJ et de la rupture du LCA.

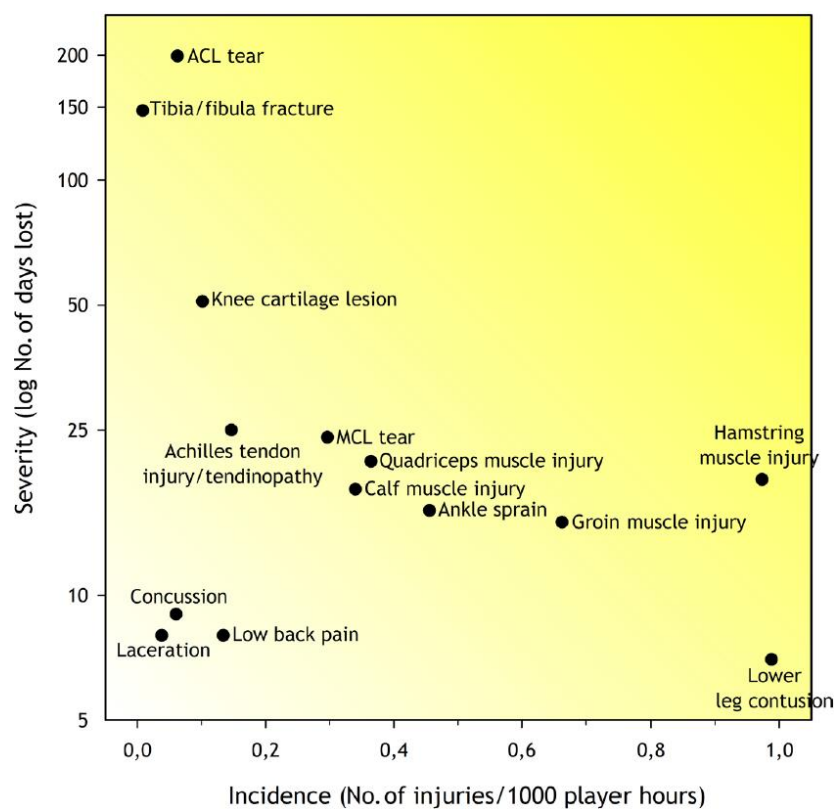


Figure 1. Incidence et sévérité des principales blessures recensées en UEFA Champions League [28]

Dès lors, la prévention de blessures qui sont caractérisées soit par une incidence élevée comme la LIJ, soit par une sévérité élevée comme la rupture du LCA, devrait figurer en tête de liste des blessures à éviter dans le football élite et dans les autres sports concernés.

1.2. Conséquences sportives d'une blessure

1.2.1. Influence sur la performance individuelle

Lors des derniers Jeux Olympiques d'été, 65 blessures musculaires significatives, définies comme induisant une durée d'indisponibilité sportive supérieure à 7 jours, ont été constatées dans différents sports, dont plus de la moitié rien qu'en athlétisme [40]. Ces lésions musculaires représentaient quasiment 30% des blessures significatives totales observées (65/221). L'apparition d'une lésion musculaire significative durant la période des Jeux Olympiques est plus que probablement synonyme d'un abandon compétitif... ceci lors de la compétition à priori la plus importante de la carrière des athlètes y prenant part.

Après une blessure sévère comme une rupture du LCA, certains athlètes ne reviennent pas au même niveau de pratique sportive que celui atteint antérieurement à la blessure [34,41,42]. Ainsi, chez les athlètes élités, la proportion d'athlètes susceptibles de revenir sur le terrain apparaît élevée [34,43,44], mais leur capacité à produire un même niveau de performance individuelle qu'avant la blessure peut s'avérer altérée. Plusieurs équipes de recherche ont mis en évidence que les défenseurs, les *wide receivers* ou encore les *running backs* de *National Football League* (NFL - championnat professionnel de football américain) présentaient des statistiques individuelles significativement moins performantes après rupture du LCA comparativement à la période d'avant blessure [45,46], mais ce constat n'a cependant pas été reproduit chez les *quarterbacks* [47] ou les *linemen* [48]. Parmi une population de basketteurs et basketteuses professionnels, le niveau de performance individuel semble globalement impacté négativement par la survenue d'une rupture du LCA, même si cette baisse de performance n'apparaît pas toujours significative [44,49–51]. À l'opposé, d'autres études parmi des populations pratiquant le football, le baseball ou le hockey sur glace notamment, n'ont pas

retrouvé d'influence globalement négative d'une rupture du LCA sur le niveau ultérieur de performance [43,52–55].

1.2.2. Influence sur la performance de l'équipe en sports collectifs

Si la variation de performance individuelle entre une période antérieure et postérieure à une blessure apparaît aisément mesurable, l'influence d'une blessure chez un sportif participant à un sport collectif sur le niveau de performance de l'équipe semble plus complexe à identifier. Dans une vaste étude d'une durée de 11 ans centrée sur le football professionnel européen, Hägglund et al. [56] ont mis en évidence une relation claire entre, d'une part une faible incidence lésionnelle ainsi qu'une faible durée totale d'indisponibilité des joueurs due aux blessures et, d'autre part la performance du club tant dans le championnat national que dans les compétitions continentales. Une faible durée totale d'indisponibilité des joueurs due aux blessures a également été associée à un meilleur « coefficient UEFA », reflet du succès d'une équipe aux compétitions européennes du plus haut niveau pour une saison donnée. Ce constat a également été observé dans le football professionnel français [57] et qatari [58] ; dans ce dernier championnat, des corrélations fortes ont été établies entre une faible incidence lésionnelle et plusieurs paramètres tels que le classement en fin de saison, le nombre de matches remportés, le nombre de buts marqués, ou encore le nombre total de points engrangés durant la saison [58].

Plus spécifiquement, la survenue de LIJ parmi une équipe professionnelle de football génère une indisponibilité sportive moyenne, sur une saison, pouvant atteindre 120 jours [4,8,59], ce qui équivaldrait à environ 18 matches pour lesquels l'équipe ne serait pas au complet. Quant à la rupture du LCA, une seule blessure de ce type survenant dans une équipe club de football suffirait à empêcher le fait que l'équipe soit au complet durant un minimum de 24 matches, avec les conséquences sportives potentielles que nous avons évoquées plus haut.

1.2.3. Influence sur la durée d'une carrière sportive

Parmi les sportifs professionnels avec antécédent de rupture du LCA, la durée de leur carrière semble raccourcie comparativement aux joueurs sans antécédent au LCA. Ainsi, les footballeurs de *MLS* (championnat américain de football), les basketteurs de *NBA* (championnat américain de basketball), les footballeurs de *NFL* ou encore les hockeyeurs de *NHL* (championnat nord-américain de hockey sur glace) qui ont subi une rupture du LCA présentent des durées moyennes de carrière significativement réduites comparativement aux athlètes non blessés au LCA [43,60–62]. Une autre étude, sur des footballeurs américains professionnels de *NFL*, a conclu que les joueurs avec rupture antérieure du LCA auraient une probabilité deux fois plus élevée de voir leur durée de carrière raccourcie par rapport aux joueurs sans antécédent au LCA [63].

À notre connaissance, aucune étude scientifique n'a démontré le caractère préjudiciable d'une LIJ sur la durée de carrière de sportifs. Notre expérience de terrain nous indique cependant plusieurs cas de sprinteurs en athlétisme pour lesquels le caractère récurrent des LIJ a contribué de manière significative à une fin de carrière.

1.3. Conséquences d'une blessure sur la santé de l'athlète

Une conséquence majeure d'une blessure sportive résulte du fait que cette blessure expose l'athlète à un risque accru de nouvelle blessure. Concrètement, il est communément admis qu'un premier épisode de lésion musculaire représente un facteur de risque de récurrence [3,7,27,56,64–66]. D'après une étude suédoise [66], des footballeurs atteints d'une lésion musculaire des membres inférieurs lors d'une saison présenteraient trois fois plus de chances de se blesser la saison suivante, comparativement à des joueurs non blessés. Des modifications structurelles du muscle ainsi qu'une insuffisance de correction des facteurs de risque de la première lésion expliquent probablement l'influence majeure de ce premier épisode lésionnel sur le risque ultérieur de rechute [67]. En ce qui concerne le LCA, le risque d'une seconde rupture (plastie ou rupture controlatérale) est également majoré comparativement à des sujets sans antécédents au LCA [38,39,68–72]. Sachant que les conséquences négatives d'une rupture de plastie sont plus importantes que pour un premier épisode [68,73], la prévention primaire d'une rupture du LCA apparaît dès lors fondamentale.

La santé d'un athlète avec antécédent de blessure peut également être impactée, sur du plus long terme, par des modifications structurelles et tissulaires associées à la blessure. Ainsi, il n'est plus à démontrer qu'une rupture du LCA favorise l'apparition précoce d'arthrose de genou [74–77], qui peut être considérée comme la conséquence d'un stress intra-articulaire anormal accompagné d'un défaut de réparation articulaire [78,79]. Une récente méta-analyse incluant au total un million de sujets a déterminé une probabilité de développer de l'arthrose 4 fois supérieure chez les sujets avec antécédent de rupture du LCA comparativement à des sujets sans antécédent au LCA [80] ; cette probabilité est multipliée par 6 si le ménisque interne était également affecté lors de la rupture du LCA. Le choix du traitement (chirurgical ou conservateur) après rupture du LCA ne semble pas influencer l'apparition d'arthrose [81,82], celle-ci apparaissant précocement indépendamment de l'option thérapeutique.

Par ailleurs, la santé mentale d'un sportif peut également être affectée après une blessure telle qu'une rupture du LCA [83–85]. L'éloignement des terrains de sport durant une période potentiellement longue associé à l'incertitude d'un retour à un niveau de performance satisfaisant peuvent produire des réactions de frustration, d'isolement ou encore de perte de motivation [86,87]. De manière plus préoccupante, il a été constaté qu'une blessure pouvait mener à une consommation abusive d'alcool, des troubles alimentaires, de la dépression voire des pensées suicidaires [86].

1.4. Coût financier d'une blessure

La survenue de blessures peut générer un coût financier élevé (pour l'athlète, le club ou les assurances), en particulier si la blessure survient chez un athlète évoluant à haut niveau :

- Le coût moyen associé à la blessure d'un footballeur professionnel d'un club du top européen serait estimé à 500.000€ pour un mois d'absence [7].
- Pour le championnat de football belge de première division, il a été suggéré une perte financière d'environ 40.000€ par LIJ par saison [88]
- En *NFL*, un préjudice d'environ 350.000 US Dollars par club et par saison résulterait uniquement de la survenue de LIJ au sein de l'équipe [89]

- En football australien professionnel, une seule LIJ produirait un coût moyen d'environ 40.000 AUS Dollars, soit plus de 22.000€, chiffre en constante augmentation entre 2003 et 2012 [90].

Les coûts associés à la rupture du LCA apparaissent très nettement plus conséquents que ceux associés aux lésions musculaires. Aux Etats-Unis d'Amérique, le coût d'une plastie du LCA semble varier fortement d'un hôpital à un autre, allant de 393 à 4.670 US Dollars avec une moyenne à 2.039\$ par intervention sans compter les honoraires des chirurgiens et autres intervenants (anesthésistes, infirmiers, ...) [91]. Si l'on se base sur le chiffre de 200.000 plasties réalisées chaque année aux USA [92–94], le coût annuel moyen lié uniquement à la chirurgie dépasserait 850 millions de Dollars. À cela doivent s'ajouter encore les coûts spécifiques à la rééducation. Zhang et al. [95] ont estimé à, respectivement, 241 et 1.876\$ le coût de la rééducation en pré-opératoire et post-opératoire : plus de 420 millions de Dollars liés aux frais de rééducation sont donc à ajouter aux frais chirurgicaux. Une multitude de frais indirects devraient également s'ajouter à la facture finale, comme l'indisponibilité de travail durant plusieurs semaines, mais aussi et surtout le coût lié à l'arthrose post-traumatique. Ce coût apparaît plus complexe à évaluer mais prend probablement des proportions très élevées [93]. À titre indicatif, le coût lié à la période d'hospitalisation dans le cadre d'une arthroplastie totale de genou pour traiter les patients à un stade avancé d'arthrose, se situerait entre 17.000 et 29.000\$ aux USA [96]. Pour obtenir une vue de l'ensemble des coûts globaux en relation avec les ruptures du LCA, Mather et al. ont proposé d'exprimer le coût moyen sur toute la durée de vie d'un patient opéré d'une plastie du LCA (« *mean lifetime cost to society for a typical patient after ACL reconstruction* »)[94]. Une moyenne de 38.121\$ a été établie par patient, ce qui générerait un coût global d'environ 7.6 milliards de Dollars de frais annuels globaux liés aux plasties du LCA rien qu'aux USA [94].

2. Modèles théoriques de prévention lésionnelle

Dans l'optique de maximiser l'efficacité de stratégies préventives, certains auteurs ont développé des modèles théoriques de prévention lésionnelle destinés aux chercheurs du domaine mais également aux acteurs de terrain. L'objectif de ces modèles est de proposer un cadre permettant de développer une démarche structurée et rigoureuse de la recherche et de l'implémentation sur terrain de stratégies préventives [97].

2.1. La « *sequence of prevention* » [98] : évolution de 1992 à nos jours

En 1992, Willem van Mechelen a adapté un modèle de prévention de santé publique au contexte des lésions sportives [98]. Ce modèle comporte quatre étapes principales :

1. La première étape consiste à recenser les données épidémiologiques telles que l'incidence et la sévérité des blessures au sein d'une population cible
2. La deuxième étape s'attache à identifier et comprendre les facteurs de risque et les mécanismes lésionnels de la pathologie en question
3. La troisième étape repose sur la mise en place effective des mesures préventives
4. Enfin, la quatrième étape nécessite une évaluation de l'efficacité des mesures préventives introduites en répétant l'étape 1.

Quelques années plus tard, estimant notamment que ce modèle ne permettait pas une implémentation satisfaisante sur le terrain, Finch [99] a proposé le modèle *Translation Research into Injury Prevention Practice* (TRIPP). Si les deux premières étapes se distinguent peu du modèle de van Mechelen, Finch [99] recommande encore quatre étapes supplémentaires comme décrit dans le tableau 1.

Tableau 1 : « *Sequence of prevention* » [98] et « *Translating Research Into Prevention Practice* » (TRIPP)[99]

Etape du modèle	« Sequence of prevention »	TRIPP
1	Décrire l'étendue du problème (recenser incidence et sévérité)	Idem
2	Identifier les facteurs de risque et mécanismes lésionnels	Idem
3	Mettre en place les mesures préventives	Développer les mesures préventives
4	Evaluer l'efficacité des mesures préventives (répéter l'étape 1)	Evaluer l'efficacité des mesures dans des conditions idéales
5	/	Décrire le contexte réel d'intervention pour favoriser son implémentation
6	/	Evaluer l'efficacité des mesures dans le contexte réel

Plus récemment, plusieurs spécialistes en prévention lésionnelle ont remis en question ces modèles [100,101], en visant plus particulièrement leur caractère non dynamique [102], le manque d'importance accordé à la compréhension complète des mécanismes lésionnels [103] ou la pertinence insuffisante des outils utilisés pour « prédire » une éventuelle future blessure [104,105]. Bittencourt et al. considèrent que le modèle de van Mechelen est surtout un modèle linéaire qui ne peut donc prendre en compte les interactions entre les différents facteurs de risque lésionnels [106]. Ils recommandent plutôt d'analyser la nature complexe et multifactorielle d'une blessure sportive via une *toile de déterminants* de cette blessure. En d'autres mots, ces auteurs préconisent de réfléchir à la manière dont les facteurs de risque interagissent entre eux et d'identifier ainsi des profils de risque (« *injury pattern recognition* ») plutôt que de compiler des facteurs de risque en unités séparées (figure 2).

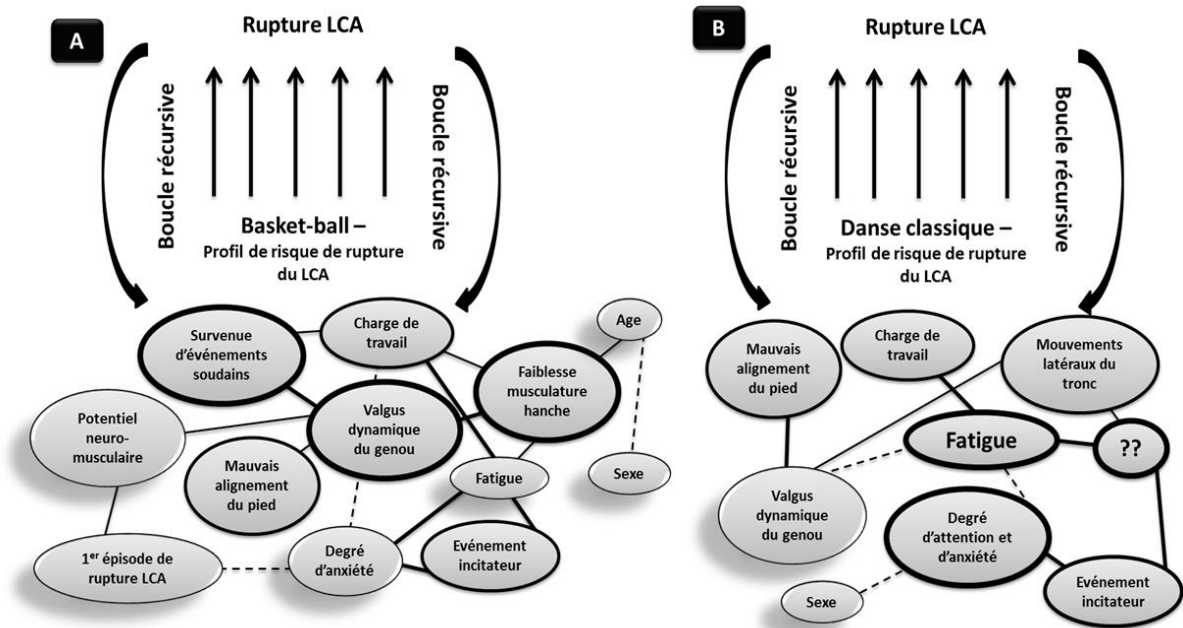


Figure 2. Toile de déterminants d'une rupture du ligament croisé antérieur (LCA) dans deux contextes : la première dans le basket-ball (Figure A) et la seconde dans le milieu de la danse classique (Figure B), d'après Bittencourt et al. [106]

Cette manière d'appréhender les stratégies préventives sous forme de modèles complexes a été également adoptée par plusieurs équipes de recherche [107] et nécessite des développements informatiques novateurs [101,108]. Récemment, Bolling [109] a co-signé un article avec van Mechelen faisant le bilan de plus de 25 années de vie de cette *sequence of prevention*. Reconnaissant le caractère peu adapté au contexte réel (par opposition à un contexte « contrôlé » tel qu'utilisé dans les études scientifiques) du modèle de base, les auteurs ont proposé une relecture de la *sequence of prevention* résolument tournée vers une compréhension et une adaptation au contexte réel des quatre étapes composant ce modèle (figure 3).

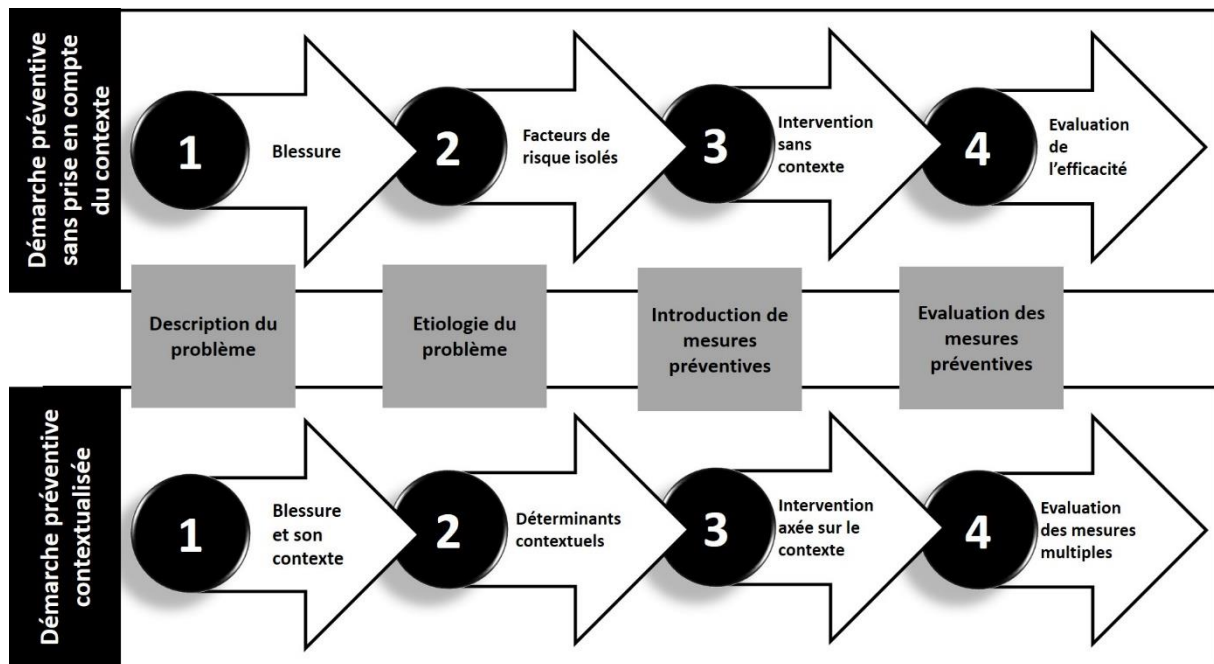


Figure 3. Version originale (ligne supérieure) et actualisée (ligne inférieure) de la « *sequence of prevention* », d'après Bolling et al. [109]

L'importance de la contextualisation d'une démarche préventive, par opposition à la transposition de stratégies « universelles », a également été soulignée dernièrement par Tee et al. [110].

2.2. Le « *Operational framework for individualising injury risk management in sport* » de Roe et al. [111]

Arguant que prévenir la survenue de blessure était impossible et qu'il serait préférable de se fixer l'objectif de réduire le risque lésionnel au minimum, une équipe irlandaise préconise de se baser sur une stratégie de *gestion de risque* qui garantirait une faible susceptibilité aux blessures [111]. Les auteurs recommandent ainsi aux acteurs de terrain, pour réaliser une démarche préventive efficace et basée sur l'évidence scientifique, de suivre les six étapes de ce modèle (« *Operational framework for individualising injury risk management in sport* » - Figure 4) :

- 1) Recenser quand, où et comment certains athlètes peuvent développer certaines blessures

- 2) Identifier les éléments qui augmentent ou réduisent le risque lésionnel
- 3) Comprendre les demandes de la discipline sportive en question : pour quels types d'efforts l'athlète doit-il être préparé ?
- 4) Connaître le profil de l'athlète : présente-t-il des caractéristiques de susceptibilité ou de protection vis-à-vis de certaines blessures ?
- 5) Développer une stratégie interventionnelle pour préparer l'athlète aux demandes de son sport sans augmenter le risque lésionnel
- 6) Mettre en place un suivi de l'athlète : comment celui-ci répond-il à la charge imposée ?

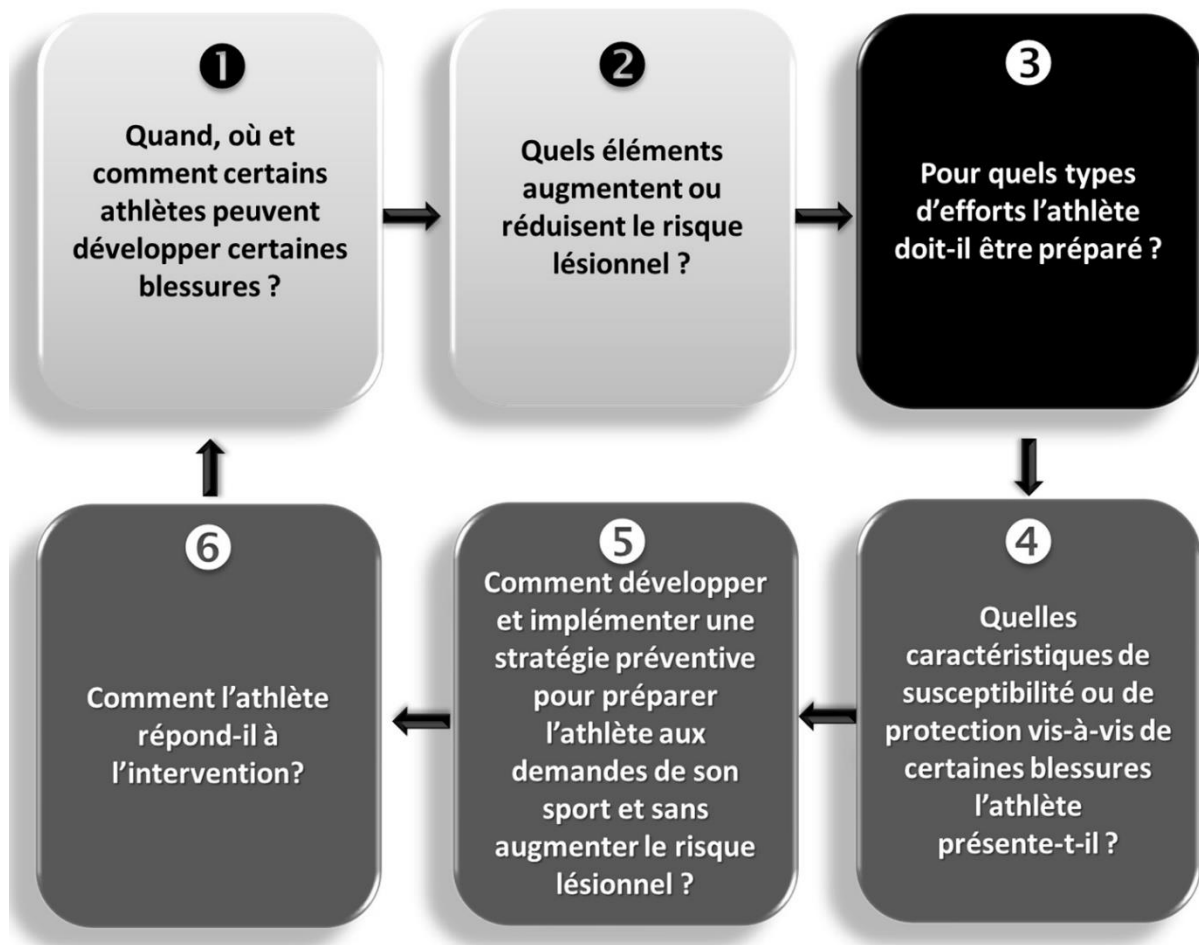


Figure 4. Le modèle "Operational framework for individualising injury risk management in sport", d'après Roe et al. [111]

2.3. Le « *Team-sport Injury Prevention* » de O'Brien et al. [112]

La stratégie que l'on pourrait qualifier de *risk management approach* est également à l'origine d'un nouveau modèle destiné spécifiquement aux sports collectifs [112]. Le *Team-sport Injury Prevention* (TIP) se compose d'un cycle permanent basé sur trois phases-clés (Figure 5).

1. Durant la phase 1 ou phase d'évaluation, deux questions sont posées :
 - a) A quel(s) type(s) de blessure(s) le staff fait-il face actuellement ?
 - b) Quelles stratégies préventives sont mises en place pour éviter cette/ces blessure(s) ?
2. La phase suivante (phase 2 – phase d'identification) requiert une analyse des facteurs de risque et des mécanismes lésionnels, et s'accompagne d'une analyse des éléments représentant une barrière ou un caractère plutôt facilitateur lors de la mise en place d'une stratégie préventive.
3. Enfin, la troisième phase (phase d'intervention) nécessite de planifier tant le contenu (ce qui doit être activé) que la forme (comment et par qui l'action sera menée) de l'intervention préventive, et de mettre en place celle-ci.

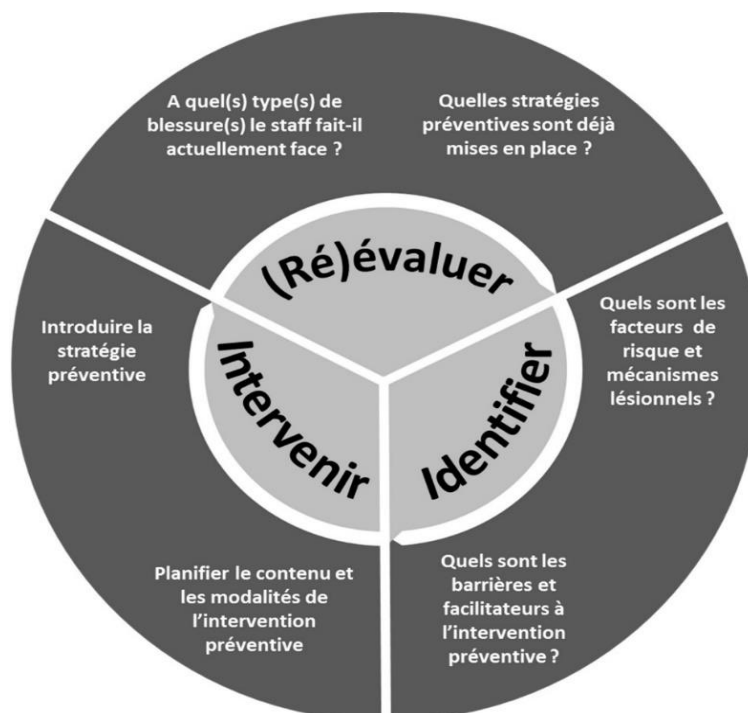


Figure 5. Le « *Team-sport Injury Prevention* » (TIP) cycle, d'après O'Brien et al. [112]

2.4. Le « *Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance framework for return-to-play decision-making* » de Shrier [113]

Ce modèle s'applique exclusivement au contexte de la prévention secondaire et propose un cadre permettant de structurer la décision d'autoriser un sportif à reprendre son activité sportive après blessure. Initialement nommé « *Return-to-play model* » par ses créateurs [114], ce modèle a été revisité récemment [113,115] et renommé "*Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance framework for return-to-play decision-making*" (StARRT). L'objectif du cadre StARRT consiste, en organisant 3 étapes successives, à structurer le raisonnement du praticien dont l'athlète est en passe de reprendre le sport après blessure, de manière à réduire le risque de récurrence à son minimum (figure 6). La première étape consiste à apprécier l'état de santé de l'athlète après sa blessure via une évaluation de divers éléments : symptômes persistants, degré de récupération du tissu lésé (examen clinique, imagerie), niveau de récupération des principales qualités requises pour la pratique d'un sport (évaluations analytiques et fonctionnelles). La deuxième étape a pour but d'analyser le stress mécanique qui sera appliqué sur le tissu lors de la pratique sportive. Il s'agit donc de déterminer les éléments susceptibles de modifier (dans le sens d'une augmentation ou d'une réduction) le risque lié à la participation sportive tels que, entre autres, le type et le niveau du sport pratiqué ou encore la position sur le terrain. Ces deux premières étapes, qui composent le processus d'évaluation du risque lésionnel, doivent enfin être confrontées aux éléments capables de modifier la décision de reprise sportive : le calendrier compétitif, une pression de l'athlète à vouloir reprendre l'activité ainsi qu'une pression extérieure (coach, manager, ...), etc.

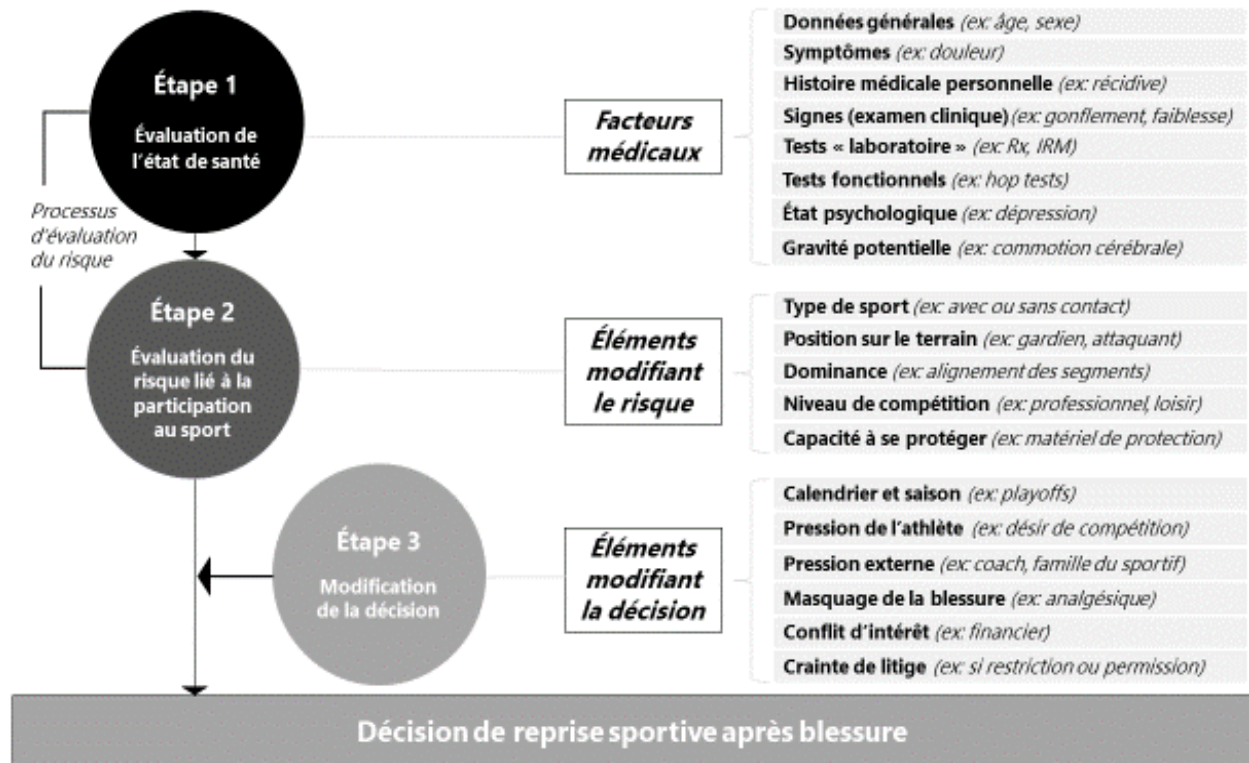


Figure 6. Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance framework for return-to-play decision-making, d'après Shrier [113]

En synthèse

Plusieurs éléments mettent en lumière l'impérieuse nécessité d'améliorer l'efficacité des stratégies préventives. En particulier, si l'on considère la lésion musculaire des ischio-jambiers et la rupture du ligament croisé antérieur :

- L'incidence lésionnelle et la sévérité de ces blessures ne semblent pas diminuer au fil des années
- Les conséquences sportives (taux de participation sportive, capacité à performer au même niveau qu'avant la blessure, durée de carrière) de ces blessures peuvent s'avérer très significatives
- Les conséquences d'une blessure sévère sur la santé de l'appareil locomoteur peuvent devenir invalidantes sur le long terme
- Le coût financier à charge de la société ou des assurances de ces blessures représente des sommes potentiellement colossales.

Face à ces constats interpellants et de manière paradoxale, la recherche sur la prévention lésionnelle n'a jamais été aussi importante qu'à l'heure actuelle, avec notamment le développement de multiples modèles théoriques favorisant l'implémentation de stratégies préventives sur le terrain.

3. Rationnel, contours et objectifs de la thèse

Nos travaux se focalisent sur la prévention des blessures traumatiques, en particulier les lésions ligamentaires et musculaires au membre inférieur. Trois grands chapitres seront développés dans le partim « contribution personnelle », et permettront ensuite d'alimenter une discussion générale.

Le **chapitre I** consiste à réaliser un état des lieux de la manière dont les intervenants de terrain perçoivent et mettent en place les stratégies préventives. Un double constat nous a amené à développer ces sujets d'études. Tout d'abord, notre expérience de terrain nous laisse penser qu'il semble exister des différences d'approches préventives parmi les acteurs de terrain concernés. À titre d'exemple, la gestion (par les médecins qui traitent des pathologies liées au sport) du moment le plus opportun pour autoriser la reprise sportive sans restriction après blessure nous semble être parfois basée sur des critères variables selon le médecin. Si ces critères s'avéraient effectivement différents en fonction du médecin qui gère le retour sur terrain, cela pourrait signifier que le risque de reblessure, pour un degré de récupération identique, soit plus élevé chez certains sportifs que chez d'autres. L'obtention d'une « photographie » de ces critères utilisés au quotidien et leur confrontation avec les données issues de la littérature spécialisée permettrait de proposer des recommandations de bonnes pratiques aux cliniciens. Cette réflexion peut être étendue à d'autres acteurs du monde sportif comme les entraîneurs. Par exemple, les entraîneurs de terrain, particulièrement à un niveau de jeu loisir, possèdent un nombre élevé de leviers qui peuvent être exploités en prévention lésionnelle et, sans préjuger de la réalité de terrain, il est possible que ces leviers ne soient pas toujours utilisés de manière adéquate : le cas échéant, ce constat éventuel pourrait partiellement expliquer que l'incidence lésionnelle de certaines blessures (notamment la LIJ) ne semble pas diminuer. Deuxièmement, un nombre croissant d'études se sont intéressées à identifier les pratiques de terrain [116-126] et les constats réalisés peuvent amener tout praticien à une pratique réflexive sur la manière dont celui-ci conçoit la prévention lésionnelle. Ce type d'étude nous semble donc présenter une réelle utilité dans l'optique de définir d'éventuelles stratégies d'amélioration des compétences des praticiens. En Belgique, le sport comptabilisant le plus grand nombre d'affiliés est le football, et les performances des

différentes équipes nationales ont globalement été remarquables ces dernières années : l'intérêt scientifique pour ce sport nous apparaît donc particulièrement évident. Pour les médecins qui doivent gérer le retour sur terrain d'un footballeur, les blessures traumatiques les plus emblématiques sont la LIJ de par sa fréquence élevée et la rupture du LCA de par sa sévérité [28]. Il nous est donc apparu cohérent d'explorer spécifiquement les critères de reprise sportive après ces blessures dans le milieu du football.

Ainsi, par les **études n°1 et n°2**, nous avons déterminé comment les médecins responsables de clubs professionnels de football décidaient de la reprise compétitive d'un joueur après lésion musculaire des ischio-jambiers ou après plastie du LCA. L'**étude n°3** a investigué, parmi les entraîneurs de football de Belgique francophone, leur conception de la prévention lésionnelle.

Plus spécifiquement, les questions de recherche de chacune de ces études ont porté sur :

▪ **Études n°1 et n°2**

- L'identification des critères utilisés par les médecins pour autoriser la reprise compétitive après lésion musculaire des ischio-jambiers (étude 1) ou après plastie du LCA (étude 2) ;
- L'analyse de l'importance relative des différents critères aux yeux de ces médecins ;
- L'approche pluridisciplinaire et en particulier l'avis d'autres intervenants dans la décision d'autoriser la reprise sportive.

▪ **Étude n°3**

- Un état des lieux des connaissances des entraîneurs de football en matière de prévention lésionnelle ;
- Leur perception des stratégies préventives ainsi que les modalités concrètes de mise en pratique de ces stratégies.

Le **chapitre II** se focalise sur le développement de deux stratégies originales de prévention et d'optimisation du retour au sport après blessure. Il est scientifiquement démontré qu'un renforcement excentrique progressif des IJ présente un rôle protecteur envers le risque de lésion instantanée de ceux-ci [127]. Pour des athlètes de niveau amateur pratiquant un sport à risque élevé de LIJ (athlétisme, football notamment), disposer d'exercices simples, accessibles

et sans matériel s'avère donc essentiel en termes de prévention. Malgré l'efficacité remarquable du *Nordic Hamstring Exercise* (NHE) [128], ce dernier ne peut être considéré comme l'unique exercice à utiliser en prévention lésionnelle [129]. Associer le NHE à d'autres exercices présentant un degré d'allongement plus important ainsi qu'une implication supérieure de la hanche pourrait dès lors amener une efficacité préventive supérieure mais ce sujet n'a été que très peu étudié à l'heure actuelle. L'**étude n°4** s'est donc intéressée, via un essai randomisé contrôlé, à l'efficacité d'un programme de renforcement excentrique des ischio-jambiers aisément accessible à tout sportif.

Nettement moins fréquente que la LIJ, la rupture du LCA induit une longue indisponibilité sportive, en particulier chez le sportif amateur [33,36,38]. Il est également interpellant de constater que les taux de retour au sport au même niveau qu'avant la rupture du LCA apparaissent plus faibles parmi les amateurs que parmi les élites [34]. Il serait dès lors utile d'identifier, dans le décours de la rééducation chez les sportifs de niveau amateur, les paramètres qui pourraient se révéler prédictifs d'un retour au sport au même niveau qu'antérieurement à la blessure. À notre connaissance, une seule étude a exploré cet aspect avec un suivi de minimum deux années mais les paramètres pris en compte étaient relativement restreints (force isométrique du quadriceps, hop tests et deux questionnaires uniquement) [33]. Nous avons donc mis sur pied une étude prospective (**étude n°5**) qui a exploré le caractère prédictif d'une batterie de tests réalisée 6 mois après rupture du LCA sur la qualité de retour sur le terrain de sport.

En particulier, les questions de recherche de ce chapitre II reposent sur :

- **Étude n°4**
 - L'influence d'un programme original de renforcement excentrique des ischio-jambiers sur la qualité de force musculaire, mais également sur la qualité d'extensibilité musculaire active et passive.
- **Étude n°5**
 - L'identification de facteurs prédictifs d'un retour sur terrain réussi ou d'une récurrence dans un intervalle de 2 ans après plastie du LCA ;
 - La détermination, parmi les facteurs prédictifs potentiellement identifiés, de paramètres et valeurs seuils à respecter pour optimiser les conditions de retour sur terrain.

Enfin, le **chapitre III**, via l'**étude n°6**, clôture le partim « contribution personnelle » et pose un regard sur la méthodologie des évaluations musculaires et fonctionnelles de pré-saison chez des footballeurs professionnels. De nombreux tests peuvent effectivement être réalisés en pré-saison, et le choix de ceux-ci réside dans la capacité de chaque test à déterminer un profil de risque de blessures et/ou à identifier précisément le niveau de performance. Les relations entre des tests isocinétiques et fonctionnels ne semblent pas parfaitement claires à l'heure actuelle, et la capacité propre de chacune de ces évaluations à identifier la qualité de récupération après blessure reste encore à démontrer chez des footballeurs élites [130].

En synthèse, les deux dernières questions de recherche ont eu pour objet :

- L'analyse des relations entre la force isocinétique des fléchisseurs/extenseurs de genoux et les performances lors d'épreuves de sauts horizontaux et verticaux ;
- L'influence d'une blessure antérieure sur le profil musculaire ainsi que sur les performances aux épreuves de sauts unilatéraux.

Tableau 2. Aperçu des études

Chapitre	N° de l'étude	Questions principales de recherche
I	1	<ul style="list-style-type: none"> • Identification des critères utilisés par les médecins pour autoriser la reprise compétitive après lésion musculaire des ischio-jambiers • Importance relative des différents critères aux yeux de ces médecins • Mise en évidence d'une potentielle approche pluridisciplinaire dans la décision d'autoriser la reprise sportive
	2	<ul style="list-style-type: none"> • Identification des critères utilisés par les médecins pour autoriser la reprise compétitive après plastie du ligament croisé antérieur • Importance relative des différents critères aux yeux de ces médecins • Mise en évidence d'une potentielle approche pluridisciplinaire dans la décision d'autoriser la reprise sportive
	3	<ul style="list-style-type: none"> • État des lieux des connaissances des entraîneurs de football en matière de prévention lésionnelle • Perception des entraîneurs des stratégies préventives et modalités concrètes de mise en pratique de ces stratégies
II	4	<ul style="list-style-type: none"> • Influence d'un programme original de renforcement excentrique des ischio-jambiers sur la qualité de force musculaire et sur la qualité de souplesse musculaire active et passive
	5	<ul style="list-style-type: none"> • Identification de facteurs prédictifs d'un retour sur terrain réussi ou d'une récurrence dans un intervalle de 2 ans après plastie du LCA • Détermination, parmi les facteurs prédictifs potentiellement identifiés, de paramètres et valeurs seuils à respecter pour favoriser le retour sur terrain
III	6	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse des relations entre la force isocinétique des fléchisseurs/extenseurs de genoux et les performances lors d'épreuves de sauts horizontaux et verticaux • Influence d'une blessure antérieure sur le profil isocinétique ainsi que sur les performances aux épreuves de sauts unilatéraux

Références

1. <http://www.who.int/fr>.
2. Guex K, Millet GP. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports Med*. 2013 Dec;43(12):1207–15.
3. Croisier J-L, Forthomme B, Namurois M-H, Vanderthommen M, Crielaard J-M. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med*. 2002 Apr;30(2):199–203.
4. Carling C, Le Gall F, Orhant E. A four-season prospective study of muscle strain reoccurrences in a professional football club. *Res Sports Med*. 2011 Apr;19(2):92–102.
5. Carling C, Orhant E, LeGall F. Match injuries in professional soccer: inter-seasonal variation and effects of competition type, match congestion and positional role. *Int J Sports Med*. 2010 Apr;31(4):271–6.
6. McCall A, Carling C, Davison M, Nedelec M, Le Gall F, Berthoin S, et al. Injury risk factors, screening tests and preventative strategies: a systematic review of the evidence that underpins the perceptions and practices of 44 football (soccer) teams from various premier leagues. *Br J Sports Med*. 2015 May;49(9):583–9.
7. Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*. 2011 Jun;39(6):1226–32.
8. Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med*. 2016 Jun;50(12):731–7.
9. Walden M, Hagglund M, Ekstrand J. Injuries in Swedish elite football--a prospective study on injury definitions, risk for injury and injury pattern during 2001. *Scand J Med Sci Sports*. 2005 Apr;15(2):118–25.
10. Woods C, Hawkins R, Hulse M, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football-analysis of preseason injuries. *Br J Sports Med*. 2002 Dec;36(6):436–41.
11. Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med*. 2004 Feb;38(1):36–41.
12. Buckthorpe M, Wright S, Bruce-Low S, Nanni G, Sturdy T, Gross AS, et al. Recommendations for hamstring injury prevention in elite football: translating research into practice. *Br J Sports Med*. 2019 Apr;53(7):449–56.
13. Feddermann-Demont N, Junge A, Edouard P, Branco P, Alonso J-M. Injuries in 13 international Athletics championships between 2007-2012. *Br J Sports Med*. 2014 Apr;48(7):513–22.
14. Edouard P, Feddermann-Demont N, Alonso JM, Branco P, Junge A. Sex differences in injury during top-level international athletics championships: surveillance data from 14 championships between 2007 and 2014. *Br J Sports Med*. 2015 Apr;49(7):472–7.
15. Edouard P, Branco P, Alonso J-M. Muscle injury is the principal injury type and hamstring muscle injury is the first injury diagnosis during top-level international athletics championships between 2007 and 2015. *Br J Sports Med*. 2016 May;50(10):619–30.
16. Edouard P, Navarro L, Branco P, Gremeaux V, Timpka T, Junge A. Injury frequency and characteristics (location, type, cause and severity) differed significantly among athletics ('track and field') disciplines during 14 international championships (2007-2018): implications for medical service planning. *Br J Sports Med*. 2020 Feb;54(3):159–67.
17. Yeomans C, Kenny IC, Cahalan R, Warrington GD, Harrison AJ, Hayes K, et al. The incidence of injury in amateur male Rugby Union: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2018 Apr;48(4):837–48.
18. Fuller CW, Taylor A, Kemp SPT, Raftery M. Rugby World Cup 2015: World Rugby injury surveillance study. *Br J Sports Med*. 2017 Jan;51(1):51–7.
19. Ball S, Halaki M, Orr R. Training volume and soft tissue injury in professional and non-professional rugby union players: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2017 Jul;51(13):1012–20.

20. Smith TO, Davies L, de Medici A, Hakim A, Haddad F, Macgregor A. Prevalence and profile of musculoskeletal injuries in ballet dancers: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport*. 2016 May;19:50–6.
21. Askling C, Lund H, Saartok T, Thorstensson A. Self-reported hamstring injuries in student-dancers. *Scand J Med Sci Sports*. 2002 Aug;12(4):230–5.
22. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *Am J Sports Med*. 2007 Oct;35(10):1716–24.
23. Eirale C, Farooq A, Smiley FA, Tol JL, Chalabi H. Epidemiology of football injuries in Asia: a prospective study in Qatar. *J Sci Med Sport*. 2013 Mar;16(2):113–7.
24. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. UEFA injury study--an injury audit of European Championships 2006 to 2008. *Br J Sports Med*. 2009 Jul;43(7):483–9.
25. Bengtsson H, Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. Muscle injury rate in professional football is higher in matches played within 5 days since the previous match: a 14-year prospective study with more than 130 000 match observations. *Br J Sports Med*. 2018 Sep;52(17):1116–22.
26. Waldén M. Reflecting on the data patterns of 15 years: a future prediction for 2032. In: Abstract book of the XXVI International Conference on Sports Rehabilitation and Traumatology - The Future of Football Medicine. Calzetti Mariucci Editori; 2017. p. 21.
27. Orchard J, Seward H. Epidemiology of injuries in the Australian Football League, seasons 1997–2000. *Br J Sports Med*. 2002 Feb;36(1):39–44.
28. Bahr R, Clarsen B, Ekstrand J. Why we should focus on the burden of injuries and illnesses, not just their incidence. *Br J Sports Med*. 2018 Aug;52(16):1018–21.
29. Grassi A, Macchiarella L, Filippini M, Lucidi GA, Della Villa F, Zaffagnini S. Epidemiology of anterior cruciate ligament injury in Italian first division soccer players. *Sports Health*. 2020 May/Jun;12(3):279–88.
30. Reikik RN, Tabben M, Eirale C, Landreau P, Bouras R, Wilson MG, et al. ACL injury incidence, severity and patterns in professional male soccer players in a Middle Eastern league. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2018 Oct 23;4(1):e000461.
31. Schiffner E, Latz D, Grassmann JP, Schek A, Thelen S, Windolf J, et al. Anterior cruciate ligament ruptures in German elite soccer players: Epidemiology, mechanisms, and return to play. *Knee*. 2018 Mar;25(2):219–25.
32. Walden M, Hagglund M, Magnusson H, Ekstrand J. ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br J Sports Med*. 2016 Jun;50(12):744–50.
33. Nawasreh Z, Logerstedt D, Cummer K, Axe M, Risberg MA, Snyder-Mackler L. Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in the same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery. *Br J Sports Med*. 2018 Mar;52(6):375.
34. Lai CCH, Ardern CL, Feller JA, Webster KE. Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. *Br J Sports Med*. 2018 Jan;52(2):128–38.
35. Webster KE, Hewett TE. What is the evidence for and validity of return-to-sport testing after anterior cruciate ligament reconstruction surgery? a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2019 Jun;49(6):917–29.
36. Raoul T, Klouche S, Guerrier B, El-Hariri B, Herman S, Gerometta A, et al. Are athletes able to resume sport at six-month mean follow-up after anterior cruciate ligament reconstruction? Prospective functional and psychological assessment from the French Anterior Cruciate Ligament Study (FAST) cohort. *Knee*. 2019 Jan;26(1):155–64.
37. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med*. 2016 Jul;50(13):804–8.

38. Nagelli CV, Hewett TE. Should Return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports Med.* 2017 Feb;47(2):221–32.
39. Zadro JR, Pappas E. Time for a different approach to anterior cruciate ligament injuries: educate and create realistic expectations. *Sports Med.* 2019 Mar;49(3):357–63.
40. Soligard T, Steffen K, Palmer D, Alonso JM, Bahr R, Lopes AD, et al. Sports injury and illness incidence in the Rio de Janeiro 2016 Olympic Summer Games: A prospective study of 11274 athletes from 207 countries. *Br J Sports Med.* 2017 Sep;51(17):1265–71.
41. Arden CL. Anterior cruciate ligament reconstruction-not exactly a one-way ticket back to the preinjury level: a review of contextual factors affecting return to sport after surgery. *Sports Health.* 2015 May;7(3):224–30.
42. Arden CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med.* 2014 Nov;48(21):1543–52.
43. Mai HT, Chun DS, Schneider AD, Erickson BJ, Freshman RD, Kester B, et al. Performance-based outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction in professional athletes differ between sports. *Am J Sports Med.* 2017 Aug;45(10):2226–32.
44. Nwachukwu BU, Anthony SG, Lin KM, Wang T, Altchek DW, Allen AA. Return to play and performance after anterior cruciate ligament reconstruction in the National Basketball Association: surgeon case series and literature review. *Phys Sportsmed.* 2017 Sep;45(3):303–8.
45. Read CR, Aune KT, Cain ELJ, Fleisig GS. Return to play and decreased performance after anterior cruciate ligament reconstruction in National Football League defensive players. *Am J Sports Med.* 2017 Jul;45(8):1815–21.
46. Carey JL, Huffman GR, Parekh SG, Sennett BJ. Outcomes of anterior cruciate ligament injuries to running backs and wide receivers in the National Football League. *Am J Sports Med.* 2006 Dec;34(12):1911–7.
47. Erickson BJ, Harris JD, Heninger JR, Frank R, Bush-Joseph CA, Verma NN, et al. Performance and return-to-sport after ACL reconstruction in NFL quarterbacks. *Orthopedics.* 2014 Aug;37(8):e728–734.
48. Cinque ME, Hannon CP, Bohl DD, Erickson BJ, Verma NN, Cole BJ, et al. Return to sport and performance after anterior cruciate ligament reconstruction in National Football League linemen. *Orthop J Sports Med.* 2017 Jun 20;5(6):2325967117711681.
49. Harris JD, Erickson BJ, Bach BRJ, Abrams GD, Cvetanovich GL, Forsythe B, et al. Return-to-sport and performance after anterior cruciate ligament reconstruction in National Basketball Association players. *Sports Health.* 2013 Nov;5(6):562–8.
50. Busfield BT, Kharrazi FD, Starkey C, Lombardo SJ, Seegmiller J. Performance outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction in the National Basketball Association. *Arthroscopy.* 2009 Aug;25(8):825–30.
51. Namdari S, Scott K, Milby A, Baldwin K, Lee G-C. Athletic performance after ACL reconstruction in the Women's National Basketball Association. *Phys Sportsmed.* 2011 Feb;39(1):36–41.
52. Erickson BJ, Chalmers PN, D'Angelo J, Ma K, Dahm DL, Romeo AA, et al. Performance and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in professional baseball players. *Orthop J Sports Med.* 2019 Oct 30;7(10):2325967119878431.
53. Erickson BJ, Harris JD, Cole BJ, Frank RM, Fillingham YA, Ellman MB, et al. Performance and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in national hockey league players. *Orthop J Sports Med.* 2014 Sep 5;2(9):2325967114548831.
54. Mohtadi NG, Chan DS. Return to sport-specific performance after primary anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Am J Sports Med.* 2018 Nov;46(13):3307–16.
55. Erickson BJ, Harris JD, Cvetanovich GL, Bach BR, Bush-Joseph CA, Abrams GD, et al. Performance and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in male major league soccer players. *Orthop J Sports Med.* 2013 Jul 11;1(2):2325967113497189.

56. Hagglund M, Walden M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J. Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med.* 2013 Aug;47(12):738–42.
57. Carling C, Le Gall F, McCall A, Nedelec M, Dupont G. Squad management, injury and match performance in a professional soccer team over a championship-winning season. *Eur J Sport Sci.* 2015;15(7):573–82.
58. Eirale C, Tol JL, Farooq A, Smiley F, Chalabi H. Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. *Br J Sports Med.* 2013 Aug;47(12):807–8.
59. Askling CM, Tengvar M, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite football: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med.* 2013 Oct;47(15):953–9.
60. Arundale AJH, Silvers-Granelli HJ, Snyder-Mackler L. Career length and injury incidence after anterior cruciate ligament reconstruction in major league soccer players. *Orthop J Sports Med.* 2018 Jan 24;6(1):2325967117750825.
61. Kester BS, Behery OA, Minhas SV, Hsu WK. Athletic performance and career longevity following anterior cruciate ligament reconstruction in the National Basketball Association. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Oct;25(10):3031–7.
62. Sikka R, Kurtenbach C, Steubs JT, Boyd JL, Nelson BJ. Anterior cruciate ligament injuries in professional hockey players. *Am J Sports Med.* 2016 Feb;44(2):378–83.
63. Brophy RH, Gill CS, Lyman S, Barnes RP, Rodeo SA, Warren RF. Effect of anterior cruciate ligament reconstruction and meniscectomy on length of career in National Football League athletes: a case control study. *Am J Sports Med.* 2009 Nov;37(11):2102–7.
64. Orchard J, Best TM, Verrall GM. Return to play following muscle strains. *Clin J Sport Med.* 2005 Nov;15(6):436–41.
65. Brooks JHM, Fuller CW, Kemp SPT, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med.* 2006 Aug;34(8):1297–306.
66. Hagglund M, Walden M, Ekstrand J. Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. *Br J Sports Med.* 2006 Sep;40(9):767–72.
67. Croisier J-L. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med.* 2004;34(10):681–95.
68. Schilaty ND, Bates NA, Sanders TL, Krych AJ, Stuart MJ, Hewett TE. Incidence of second anterior cruciate ligament tears (1990-2000) and associated factors in a specific geographic locale. *Am J Sports Med.* 2017 Jun;45(7):1567–73.
69. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005 Aug;21(8):948–57.
70. Wright RW, Dunn WR, Amendola A, Andrich JT, Bergfeld J, Kaeding CC, et al. Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective MOON cohort study. *Am J Sports Med.* 2007 Jul;35(7):1131–4.
71. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, Huston LJ, Spindler KP. Risk factors and predictors of subsequent acl injury in either knee after acl reconstruction: prospective analysis of 2488 primary acl reconstructions from the MOON cohort. *Am J Sports Med.* 2015 Jul;43(7):1583–90.
72. Hui C, Salmon LJ, Kok A, Maeno S, Linklater J, Pinczewski LA. Fifteen-year outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft for 'isolated' anterior cruciate ligament tear. *Am J Sports Med.* 2011 Jan;39(1):89–98.
73. Lefevre N, Klouche S, Mirouse G, Herman S, Gerometta A, Bohu Y. Return to sport after primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective comparative study of 552 patients from the FAST cohort. *Am J Sports Med.* 2017 Jan;45(1):34–41.
74. Smith MV, Nepple JJ, Wright RW, Matava MJ, Brophy RH. Knee osteoarthritis is associated with previous meniscus and anterior cruciate ligament surgery among elite college american football athletes. *Sports Health.* 2017 Jun;9(3):247–51.

75. Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum.* 2004 Oct;50(10):3145–52.
76. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2007 Oct;35(10):1756–69.
77. Renström PA. Eight clinical conundrums relating to anterior cruciate ligament (ACL) injury in sport: recent evidence and a personal reflection. *Br J Sports Med.* 2013 Apr;47(6):367–72.
78. Lane NE, Shidara K, Wise BL. Osteoarthritis year in review 2016: clinical. *Osteoarthritis Cartilage.* 2017 Feb;25(2):209–15.
79. Hunter DJ, Bierma-Zeinstra S. Osteoarthritis. *Lancet.* 2019 Apr 27;393(10182):1745–59.
80. Poulsen E, Goncalves GH, Bricca A, Roos EM, Thorlund JB, Juhl CB. Knee osteoarthritis risk is increased 4-6 fold after knee injury - a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2019 Dec;53(23):1454–63.
81. Tsoukas D, Fotopoulos V, Basdekis G, Makridis KG. No difference in osteoarthritis after surgical and non-surgical treatment of. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016 Sep;24(9):2953–9.
82. Smith TO, Postle K, Penny F, McNamara I, Mann CJV. Is reconstruction the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A systematic review and meta-analysis comparing anterior cruciate ligament reconstruction versus non-operative treatment. *Knee.* 2014 Mar;21(2):462–70.
83. McGuine TA, Winterstein AP, Carr K, Hetzel S. Changes in health-related quality of life and knee function after knee injury in young female athletes. *Orthop J Sports Med.* 2014 Apr 22;2(4):2325967114530988.
84. Valovich McLeod TC, Bay RC, Parsons JT, Sauers EL, Snyder AR. Recent injury and health-related quality of life in adolescent athletes. *J Athl Train.* 2009 Dec;44(6):603–10.
85. Mainwaring LM, Hutchison M, Bisschop SM, Comper P, Richards DW. Emotional response to sport concussion compared to ACL injury. *Brain Inj.* 2010;24(4):589–97.
86. Putukian M. The psychological response to injury in student athletes: a narrative review with a focus on mental health. *Br J Sports Med.* 2016 Feb;50(3):145–8.
87. *(No authors listed)*. Psychological issues related to illness and injury in athletes and the team physician: a consensus statement-2016 update. *Med Sci Sports Exerc.* 2017 May;49(5):1043–54.
88. Schuermans J. Hamstring injuries in football: an update on the intrinsic risk profile. Doctoral Thesis Dissertation, Ghent University; 2016.
89. Elliott MCCW, Zarins B, Powell JW, Kenyon CD. Hamstring muscle strains in professional football players: a 10-year review. *Am J Sports Med.* 2011 Apr;39(4):843–50.
90. Hickey J, Shield AJ, Williams MD, Opar DA. The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League. *Br J Sports Med.* 2014 Apr;48(8):729–30.
91. Archibald-Seiffer N, Jacobs JCJ, Saad C, Jevsevar DS, Shea KG. Review of anterior cruciate ligament reconstruction cost variance within a regional health care system. *Am J Sports Med.* 2015 Jun;43(6):1408–12.
92. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000 Jun;8(3):141–50.
93. Spindler KP, Wright RW. Clinical practice. Anterior cruciate ligament tear. *N Engl J Med.* 2008 Nov 13;359(20):2135–42.
94. Mather RC 3rd, Koenig L, Kocher MS, Dall TM, Gallo P, Scott DJ, et al. Societal and economic impact of anterior cruciate ligament tears. *J Bone Joint Surg Am.* 2013 Oct 2;95(19):1751–9.
95. Zhang JY, Cohen JR, Yeraniosian MG, Lord EL, Wang JC, Petrigliano FA, et al. Rehabilitation charges associated with anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Health.* 2015 Dec;7(6):538–41.
96. Palsis JA, Brehmer TS, Pellegrini VD, Drew JM, Sachs BL. The cost of joint replacement: comparing two approaches to evaluating costs of total hip and knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Feb 21;100(4):326–33.

97. Edouard P, Ford KR. Great challenges towards sports injury prevention and rehabilitation. *Front Sports Act Living*. 2020;2:80.
98. van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med*. 1992 Aug;14(2):82–99.
99. Finch C. A new framework for research leading to sports injury prevention. *J Sci Med Sport*. 2006 May;9(1–2):3–9.
100. Verhagen E, Voogt N, Bruinsma A, Finch CF. A knowledge transfer scheme to bridge the gap between science and practice: an integration of existing research frameworks into a tool for practice. *Br J Sports Med*. 2014 Apr;48(8):698–701.
101. Hulme A, Finch CF. From monocausality to systems thinking: a complementary and alternative conceptual approach for better understanding the development and prevention of sports injury. *Inj Epidemiol*. 2015 Dec;2(1).
102. Cook C. Predicting future physical injury in sports: it's a complicated dynamic system. *Br J Sports Med*. 2016 Nov;50(22):1356–7.
103. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med*. 2005 Jun;39(6):324–9.
104. Bahr R. Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will...: a critical review. *Br J Sports Med*. 2016 Jul;50(13):776–80.
105. van Dyk N, Clarsen B. Prevention forecast: cloudy with a chance of injury. *Br J Sports Med*. 2017 Dec;51(23):1646–7.
106. Bittencourt NFN, Meeuwisse WH, Mendonca LD, Nettel-Aguirre A, Ocarino JM, Fonseca ST. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition-narrative review and new concept. *Br J Sports Med*. 2016 Nov;50(21):1309–14.
107. Pol R, Hristovski R, Medina D, Balague N. From microscopic to macroscopic sports injuries. Applying the complex dynamic systems approach to sports medicine: a narrative review. *Br J Sports Med*. 2019 Oct;53(19):1214–20.
108. Hulme A, Thompson J, Nielsen RO, Read GJM, Salmon PM. Towards a complex systems approach in sports injury research: simulating running-related injury development with agent-based modelling. *Br J Sports Med*. 2019 May;53(9):560–9.
109. Bolling C, van Mechelen W, Pasman HR, Verhagen E. Context matters: revisiting the first step of the 'sequence of prevention' of sports injuries. *Sports Med*. 2018;48(10):2227–34.
110. Tee JC, McLaren SJ, Jones B. Sports Injury prevention is complex: we need to invest in better processes, not singular solutions. *Sports Med*. 2020 Apr;50(4):689–702.
111. Roe M, Malone S, Blake C, Collins K, Gissane C, Buttner F, et al. A six stage operational framework for individualising injury risk management in sport. *Inj Epidemiol*. 2017 Sep 20;4(1):26.
112. O'Brien J, Finch CF, Pruna R, McCall A. A new model for injury prevention in team sports: the Team-sport Injury Prevention (TIP) cycle. *Science and medicine in Football*. 2019;77–80.
113. Shrier I. Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making. *Br J Sports Med*. 2015 Oct;49(20):1311–5.
114. Creighton DW, Shrier I, Shultz R, Meeuwisse WH, Matheson GO. Return-to-play in sport: a decision-based model. *Clin J Sport Med*. 2010 Sep;20(5):379–85.
115. Shrier I, Matheson GO, Boudier-Reveret M, Steele RJ. Validating the three-step return-to-play decision model. *Scand J Med Sci Sports*. 2015 Apr;25(2):e231–239.
116. Loose O, Achenbach L, Fellner B, Lehmann J, Jansen P, Nerlich M, et al. Injury prevention and return to play strategies in elite football: no consent between players and team coaches. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018 Jul;138(7):985–92.
117. McCall A, Davison M, Andersen TE, Beasley I, Bizzini M, Dupont G, et al. Injury prevention strategies at the FIFA 2014 World Cup: perceptions and practices of the physicians from the 32 participating national teams. *Br J Sports Med*. 2015 May;49(9):603–8.

118. Perera NKP, Akerlund I, Hagglund M. Motivation for sports participation, injury prevention expectations, injury risk perceptions, and health problems in youth floorball players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019 Nov;27(11):3722-32.
119. McCall A, Dupont G, Ekstrand J. Injury prevention strategies, coach compliance and player adherence of 33 of the UEFA Elite Club Injury Study teams: a survey of teams' head medical officers. *Br J Sports Med.* 2016 Jun;50(12):725-30.
120. Frank BS, Register-Mihalik J, Padua DA. High levels of coach intent to integrate a ACL injury prevention program into training does not translate to effective implementation. *J Sci Med Sport.* 2015 Jul;18(4):400-6.
121. Bahr R, Thorborg K, Ekstrand J. Evidence-based hamstring injury prevention is not adopted by the majority of Champions League or Norwegian Premier League football teams: the Nordic Hamstring survey. *Br J Sports Med.* 2015 Nov;49(22):1466-71.
122. Andersson SH, Bahr R, Olsen MJ, Myklebust G. Attitudes, beliefs, and behavior toward shoulder injury prevention in elite handball: Fertile ground for implementation. *Scand J Med Sci Sports.* 2019 Dec;29(12):1996-2009.
123. O'Brien J, Finch CF. Injury prevention exercise programmes in professional youth soccer: understanding the perceptions of programme deliverers. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2016;2(1):e000075.
124. Zech A, Wellmann K. Perceptions of football players regarding injury risk factors and prevention strategies. *PLoS One.* 2017;12(5):e0176829.
125. Meurer MC, Silva MF, Baroni BM. Strategies for injury prevention in Brazilian football: Perceptions of physiotherapists and practices of premier league teams. *Phys Ther Sport.* 2017 Nov;28:1-8.
126. O'Brien J, Finch CF. Injury prevention exercise programs for professional soccer: understanding the perceptions of the end-users. *Clin J Sport Med.* 2017 Jan;27(1):1-9.
127. Bourne MN, Timmins RG, Opar DA, Pizzari T, Ruddy JD, Sims C, Williams MD, Shield AJ. An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises to Prevent Hamstring Injury. *Sports Med.* 2018 Feb;48(2):251-67.
128. Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2017 May;47(5):907-16.
129. Oakley AJ, Jennings J, Bishop CJ. Holistic hamstring health: not just the Nordic hamstring exercise. *Br J Sports Med.* 2018 Jul;52(13):816-7.
130. Lehanche C, Binet J, Bury T, Croisier JL. Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2009 Apr;19(2):243-51.

CONTRIBUTION PERSONNELLE

Chapitre I

La prévention lésionnelle vécue par les acteurs de terrain

Étude 1

Critères de retour au sport après lésion musculaire des ischio-jambiers : analyse des démarches utilisées dans le football professionnel

Étude 2

Retour au sport après plastie du Ligament Croisé Antérieur : critères utilisés dans les clubs professionnels de football

Étude 3

Stratégies de prévention de blessures : les entraîneurs de football en tant qu'acteurs

Étude 1

Critères de retour au sport après lésion musculaire des ischio-jambiers : analyse des démarches utilisées dans le football professionnel

François Delvaux¹, Pierre Rochcongar², Olivier Bruyère³, Guillaume Bourlet¹, Christophe Daniel⁴, Pierre Diverse⁵, Jean-Yves Reginster³, Jean-Louis Croisier¹

¹ Département des Sciences de la Motricité, Université et CHU de Liège, Liège, Belgique

² Département de Biologie et de Médecine du Sport, CHU Pontchaillou, Rennes, France ; Ligue Professionnelle de Football

³ Département de Santé Publique, Epidémiologie et Economie de la Santé, Université et CHU de Liège, Liège, Belgique

⁴ Département de Chirurgie Orthopédique, CHU de Liège, Liège, Belgique

⁵ Département de Chirurgie Orthopédique, Hôpital Saint-Elisabeth, Verviers, Belgique

Journal of Sports Science and Medicine 2014 Sep;13(3):721-3, sous le titre

“Return-to-play criteria after hamstring injury: actual medicine practice in professional soccer teams”.

Résumé

Objectifs

Analyser la démarche suivie par les médecins de clubs professionnels de football pour décider, en pratique quotidienne, d'autoriser le retour compétitif après lésion musculaire des ischio-jambiers (LIJ).

Matériels et Méthodes

Trente-sept médecins responsables de clubs professionnels de football français et belges (*Ligue 1*, n=15 ; *Ligue 2*, n=14 ; *Division 1* belge, n=8) ont rempli un questionnaire à choix multiples concernant : 1) les critères utilisés afin de déterminer si un joueur est apte à reprendre la compétition après LIJ ; 2) l'importance relative de chacun de ces critères ; 3) le rôle éventuel d'intervenants spécifiques (kinésithérapeute, préparateur physique, entraîneur) dans cette décision.

Résultats

Une très large majorité des médecins (79%) a déclaré prendre en compte un minimum de sept critères pour décider d'une éventuelle reprise compétitive. Les critères les plus importants étaient : disparition totale des douleurs, normalisation de la force musculaire, sensations subjectives rapportées par le joueur, normalisation de la souplesse musculaire des LIJ, et performance à un test spécifique au football. Pour une majorité de ces critères, nous avons observé un manque de consensus sur le choix des paramètres d'évaluation propres à chaque critère ainsi que sur les valeurs-limites permettant d'autoriser ou non la reprise compétitive.

Conclusion

Une meilleure prise en considération des paramètres d'évaluation et des valeurs limites proposés par la littérature scientifique devrait aider le praticien dans sa décision d'autoriser la reprise compétitive après LIJ.

Mots-clés

Reprise sportive ; Prévention lésionnelle secondaire ; Lésion musculaire ; Football élite.

1. Introduction

La récurrence d'une blessure représente un problème fréquent chez les athlètes de tous sports [1]. Ce constat oblige l'encadrement médico-sportif à réfléchir aux stratégies les plus appropriées en termes de prévention secondaire. Parmi celles-ci, les décisions de retour sur terrain (RST) représentent un point-clé pour réduire le risque lésionnel au maximum. Certains auteurs ont proposé des lignes de conduite dans le but d'aider les praticiens à prendre sereinement cette décision de RST [2–4]. À titre d'exemple, le modèle récent développé par Creighton et al. [5] et adapté par Shrier [6] pourrait contribuer à clarifier ce processus décisionnel (*Note*: ce modèle est décrit et illustré dans la partie « Introduction générale » du manuscrit).

Les données épidémiologiques des blessures nous apprennent que les lésions musculaires des ischio-jambiers (LIJ) dans le football sont les blessures les plus fréquentes, avec également un taux de récurrence particulièrement élevé. Selon diverses études, la LIJ représenterait 10 à 23% de l'ensemble des blessures traumatiques en football [7–12]. Engebretsen et al. [13] ont rapporté qu'un footballeur précédemment blessé à ce groupe musculaire présenterait un risque de nouvelle LIJ doublé comparativement à un sujet sain. Au regard de ces constats interpellants, la prise en charge d'un épisode de LIJ devrait logiquement inclure, en fin de période de rééducation, une réflexion sur les critères à appliquer pour autoriser la reprise sportive totale et finalement la participation à une compétition [6]. L'identification d'éventuels facteurs de risque résiduels chez le sportif représente probablement une étape essentielle de cette procédure. Cependant, déterminer de manière pertinente les paramètres d'évaluation ainsi que les valeurs-seuil de chaque évaluation constitue un réel challenge pour le praticien. Si la littérature scientifique apparaît globalement assez pauvre sur le sujet, certains auteurs ont tout de même proposé, sur base d'études prospectives, un ensemble de recommandations précises pour favoriser un RST sécurisé. À titre d'exemple, des modalités d'évaluation ainsi que des valeurs-limites ont été décrites pour les performances musculaires de footballeurs professionnels après LIJ [14,15].

À côté des études scientifiques fondamentales en prévention lésionnelle (développement de modèles préventifs, identification de facteurs de risque, validation de stratégies préventives,

...), les études destinées à évaluer les attitudes thérapeutiques de praticiens peuvent présenter un réel intérêt. Notre expérience personnelle nous pousse à croire qu'il pourrait exister certaines discordances entre l'évidence scientifique et les pratiques du quotidien dans le domaine de la médecine du sport. L'objectif de cette étude était d'analyser la manière dont les cliniciens décident, dans leur pratique quotidienne au sein de structures professionnelles, d'autoriser le retour à une pratique compétitive du football après LIJ.

2. Matériels et méthodes

En collaboration avec la *Fédération Française de Football* et l'*Union Royale Belge des Sociétés de Football Association*, les médecins de clubs de football professionnel (France : *Ligue 1* et *Ligue 2*; Belgique : *Division 1*) ont été invités à répondre, via e-mail, à un questionnaire anonymisé. Afin de construire ce questionnaire, une revue de littérature exhaustive concernant les critères de retour compétitif après LIJ a été réalisée. Sur base de celle-ci, une formulation sous forme de questions à choix multiples (QCM) a ensuite été développée. Pour clôturer la phase d'élaboration, le questionnaire a été approuvé par trois experts en Médecine Sportive et en Santé Publique.

Trois parties composaient ce questionnaire. La première d'entre elles posait la question suivante : « *Dans votre pratique quotidienne, utilisez-vous les critères suivants pour déterminer si un joueur de football, en fin de rééducation après lésion musculaire des ischio-jambiers, est apte à reprendre la compétition ?* ». Une liste de 14 critères potentiels était proposée, et le médecin interrogé devait répondre par oui ou non pour chacun d'entre eux : (1) respect d'une durée théorique minimale d'arrêt compétitif ; (2) sensations subjectives du sportif ; (3) disparition complète des douleurs ; (4) imagerie médicale ; (5) souplesse musculaire ; (6) analyse EMG de l'activité des ischio-jambiers ; (7) performances musculaires ; (8) correction d'une éventuelle dysfonction sacro-iliaque ou lombaire ; (9) performance à un test spécifique au football ; (10) test proprioceptif ; (11) analyse de la course ; (12) performance à un test dynamique fonctionnel ; (13) condition physique ; (14) autre(s) critère(s). Pour certains de ces critères, une ou plusieurs questions plus détaillées étaient posées et formulées également sous forme de QCM.

Dans la seconde partie du questionnaire, il était demandé de classer de 1 à 14 les critères précédents en fonction de l'importance que les médecins interrogés leur accordaient dans leur pratique quotidienne : 1 = le critère le plus important pour déterminer si le joueur est apte à reprendre la compétition ; 14 = le critère le moins important.

Enfin, la troisième partie était centrée sur la question suivante : « *Dans votre de décision d'autoriser le joueur à reprendre la compétition, tenez-vous compte de l'avis des intervenants suivants* » ? Les réponses proposées étaient : (1) kinésithérapeute ; (2) préparateur physique ; (3) entraîneur de terrain ; (4) autre(s). Quelques questions d'informations générales (âge, expérience dans le football professionnel, spécialisation professionnelle) clôturaient le formulaire.

Cette étude a été approuvée par le Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire de l'Université et du CHU de Liège.

3. Résultats

Sur les 54 médecins contactés, nous avons reçu 37 questionnaires remplis dans leur intégralité, ce qui signifie un taux de réponse de 69%. La moyenne d'âge des répondants était de 46 ± 7 ans et le nombre d'années d'expérience professionnelle dans le football de haut niveau atteignait 12 ± 6 ans. Quinze questionnaires ont été complétés par des médecins responsables de clubs de *Ligue 1* française, 14 de *Ligue 2* française, et 8 de *Division 1* belge.

Plus de cinquante pourcents des médecins ont déclaré prendre en compte un minimum de 11 critères pour décider du RST après LIJ (figure 1).

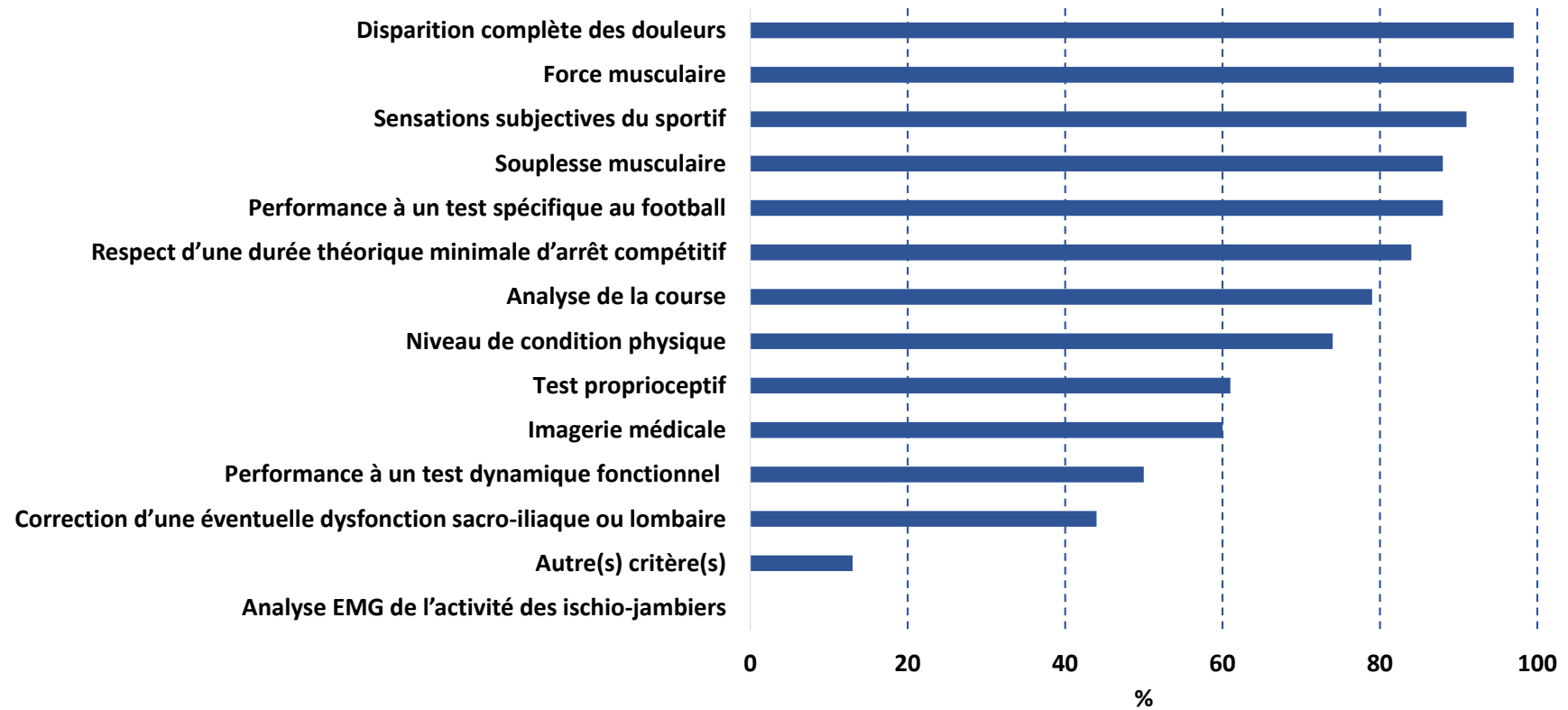


Figure 1. Réponses à la question : « Dans votre pratique quotidienne, utilisez-vous les critères suivants pour déterminer si un joueur de football, en fin de rééducation après lésion musculaire des IJ, est apte à reprendre la compétition ? ». Graphique exprimé en pourcentage de réponses positives

La quasi-totalité des médecins (n=36, soit 97% de l'ensemble de la cohorte) réalisent ou font réaliser systématiquement une évaluation des performances musculaires. Parmi ceux-ci, 81% déclarent effectuer un testing manuel, 73% utilisent un dynamomètre isocinétique et 18% une machine de musculation (figure 2A). Comme représenté dans la figure 2B, chez les médecins qui font réaliser une évaluation isocinétique (n=26), les IJ sont préférentiellement évalués en mode excentrique (83%) et en mode concentrique (72%). Le mode de contraction isométrique est utilisé par 46% des médecins. Les performances musculaires du quadriceps sont évaluées par 59% des participants, prioritairement en mode concentrique (58% de la cohorte), comparativement aux modes excentrique (39%) et isométrique (28%). La figure 2C résume les paramètres pris en considération, lors de l'évaluation isocinétique, pour déterminer le niveau de récupération des performances musculaires après LIJ. Chez les médecins qui déclarent utiliser préférentiellement la comparaison bilatérale comme paramètre prioritaire pour le RST (n=21), la limite maximale de 10% de différence bilatérale semble utilisée par une majorité de ces répondants (figure 2D).

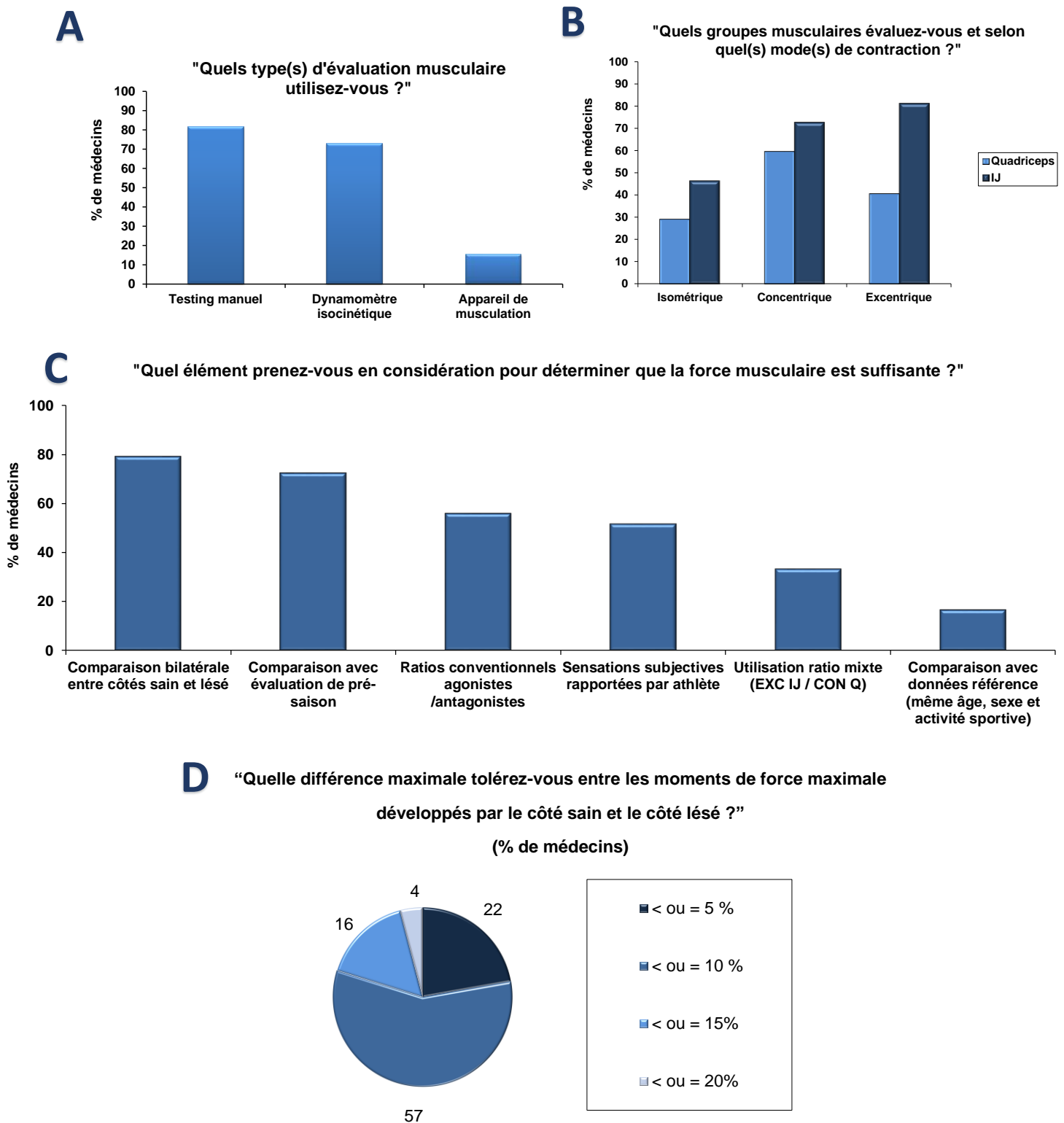


Figure 2. Evaluation des performances musculaires. A) Types d'évaluation utilisés ; B) Groupes musculaires et modes de contraction utilisés lors de l'évaluation isocinétique ; C) Paramètres pris en considération à l'évaluation isocinétique pour déterminer le niveau de récupération ; D) Valeurs limites en comparaison bilatérale utilisées lors de l'évaluation isocinétique

Selon les médecins qui comparent les performances musculaires à celles du même athlète réalisées avant la blessure (tests de pré-saison généralement) (n=21), 45% d'entre eux estiment que le RST ne peut être autorisé si une différence de plus de 10% des performances des IJ est constatée entre les deux épreuves ; 27% des sondés tolèrent jusqu'à 15% de différentiel, et 7% d'entre eux jusqu'à 20%.

Une très large majorité des médecins participant à l'étude (91%) considèrent que la performance à un test spécifique au football doit être évaluée afin de décider d'un éventuel RST. Septante pourcents d'entre eux utilisent un test de sprint de 10m, et 41% déclarent faire passer un test standardisé de dribble de cônes. Le paramètre principal (84% des médecins) pris en compte pour déterminer la possibilité d'un RST est la sensation subjective rapportée par le joueur ; une comparaison avec une précédente évaluation du même athlète (réalisée avant la blessure en pré-saison généralement) est prise en considération par 39% des médecins (figure 3).

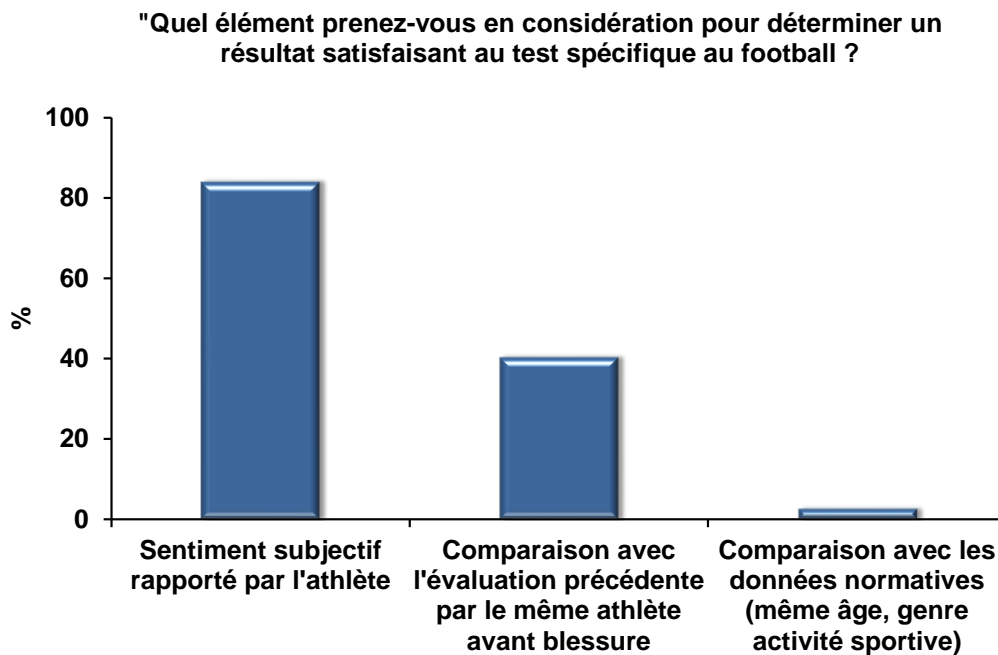


Figure 3. Paramètres pris en considération au test spécifique de football pour déterminer le degré de récupération

Dans la seconde partie du questionnaire, les répondants étaient invités à classer leurs critères de RST par ordre d'importance. Comme illustré dans le tableau 1, la disparition complète des douleurs apparaît en première position, suivie par les performances musculaires.

Tableau 1. Classement, par ordre d'importance, des critères utilisés par les médecins interrogés pour déterminer le retour compétitif après lésion musculaire des ischio-jambiers

Ranking	Critère
1	Disparition complète des douleurs
2	Performances musculaires
3	Sensations subjectives rapportées par le joueur
4	Souplesse musculaire
5	Performance à un test spécifique de football
6	Respect d'une durée théorique minimale d'arrêt compétitif
7	Analyse de la course
8	Condition physique
9	Test proprioceptif
10	Imagerie médicale
11	Performance à un test dynamique fonctionnel
12	Correction d'une éventuelle dysfonction sacro-iliaque ou lombaire
13	Autre critère
14	Analyse EMG de l'activité des ischio-jambiers

Enfin, la prise en compte de l'avis de certains intervenants semble majoritaire, particulièrement le kinésithérapeute (89%) et le préparateur physique (76%). L'opinion de l'entraîneur principal de terrain n'est cependant pas prise en compte par la majorité des médecins interrogés (34%) (figure 4).

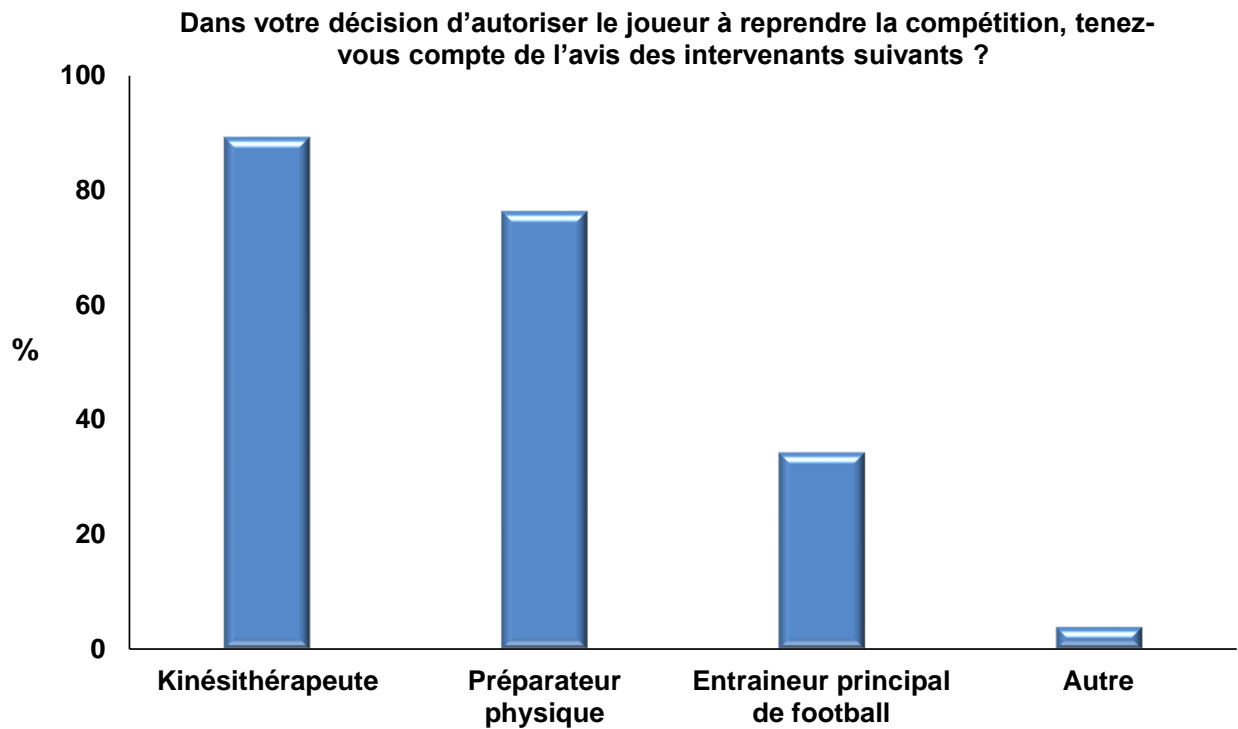


Figure 4. Réponses à la question : « Dans votre décision d'autoriser le joueur à reprendre la compétition, tenez-vous compte de l'avis des intervenants suivants ? »

4. Discussion

L'objectif de cette étude était de réaliser un état des lieux, dans le milieu du football professionnel, de la manière par laquelle les médecins décident le RST après LIJ. Nous avons développé notre questionnaire selon une méthodologie bien précise, et choisi de formuler nos questions sous la forme de questions à choix multiples. Cette méthode présente le bénéfice d'une analyse statistique plus simple comparativement à une analyse qualitative avec questions ouvertes. La difficulté principale réside dans le fait de pouvoir proposer un nombre exhaustif de réponses pertinentes pour chaque question. Nous avons donc, en première étape de la construction du questionnaire, réalisé une revue de littérature exhaustive sur le sujet. Par la suite, trois experts en médecine du sport ont amendé le questionnaire. Nous pensons que l'ensemble des réponses possibles étaient pertinent, car l'onglet « autre réponse » (onglet présent à chaque question), n'a été coché que de manière marginale. De plus, aucun commentaire complémentaire n'a été fourni par les répondants, alors que nous avons laissé un espace spécifiquement dédié à cet effet.

Les résultats montrent clairement que les médecins se basent sur un nombre élevé de critères pour autoriser un RST après LIJ. Plus de 80% d'entre eux déclarent en effet baser leur décision de RST sur au moins 6 critères ; ils sont toujours plus de 50% à déclarer prendre en compte 11 critères. Parmi ceux-ci, la **disparition complète des douleurs** était considérée comme le critère le plus important : 97% des répondants ont déclaré l'exiger préalablement au RST. Si la douleur à la palpation lors de l'examen clinique peut représenter un bon indicateur, il apparaît pertinent de s'assurer que la douleur soit absente dans des situations plus spécifiques au football comme la pratique d'exercices de football ou de sprints à haute intensité. En ce sens, obtenir l'avis du kinésithérapeute ou du préparateur physique sur le comportement du joueur dans de telles situations pourrait s'avérer particulièrement intéressant. Il semble en effet envisageable que certains joueurs, de par leur propre volonté ou de par une pression externe (pression financière, encadrement sportif ou familial, ...), cherchent à revenir au plus vite sur le terrain et ce, malgré des douleurs persistantes. D'un point de vue scientifique, il semble y avoir un réel consensus sur le sujet : un athlète présentant des douleurs résiduelles ne devrait pas reprendre son activité compétitive, quel que soit son sport [16–19].

À égalité avec la disparition complète des douleurs, les **performances musculaires** représentent également le critère le plus important en vue d'un RST après LIJ pour les médecins interrogés. Ce constat n'apparaît pas surprenant, dans la mesure où il est communément admis qu'une faiblesse ou un déséquilibre musculaire augmente le risque de récurrence [8,14,15,20]. Cependant, si l'ensemble des médecins semble s'accorder sur l'importance d'évaluer les performances musculaires après LIJ, la manière d'identifier une éventuelle faiblesse musculaire peut s'avérer fort différente d'un médecin à un autre. Ainsi, 27% des médecins questionnés n'utilisent pas de dynamomètre isocinétique pour l'évaluation musculaire. Dans le milieu du football professionnel, où chaque joueur présente une valeur marchande parfois élevée, il apparaît surprenant de constater l'absence d'utilisation de cette méthode *gold standard* d'évaluation musculaire. Le testing manuel ou l'utilisation d'une machine de fitness, même associée à des technologies modernes (accéléromètres, ...) peut difficilement fournir des informations aussi précises qu'un dynamomètre isocinétique. Parmi les utilisateurs de l'outil isocinétique, 72% des médecins réalisent un test en modalité concentrique, et 83% en modalité excentrique. Cette dernière modalité semble effectivement la plus pertinente, étant donné que ce mode excentrique représente le mode de contraction le plus important pour les LIJ : ceux-ci doivent en effet protéger l'intégrité du genou durant une violente contraction du quadriceps [15]. De plus, la tension appliquée durant un effort maximal excentrique est supérieure à celle d'un effort maximal concentrique, ce qui lui confère un caractère plus discriminant que le simple mode concentrique. Il a également été démontré qu'après une LIJ, la réduction des moments de force maximale (MFM) développés par les LIJ était jusqu'à deux fois plus importante en mode excentrique qu'en mode concentrique [14]. L'évaluation des LIJ en mode excentrique permet de plus l'établissement d'un ratio mixte fonctionnel, à la condition préalable d'évaluer les performances du quadriceps. Or, seule la moitié des médecins déclare évaluer ces performances quadricipitales. In fine, seulement moins d'un tiers des médecins interrogés établit un ratio mixte fonctionnel, alors que ce ratio pourrait être le signe particulièrement pertinent d'un déséquilibre musculaire. Nous estimons que la majorité des médecins questionnés n'utilise donc pas les modalités optimales d'évaluation isocinétique, et cela pourrait amener à mal identifier voire à sous-estimer le risque de récurrence après LIJ.

Nous avons observé que les **sensations subjectives rapportées par le joueur** arrivaient en troisième position des critères de RST les plus importants (88% des médecins interrogés déclarent utiliser ce critère). Plusieurs auteurs ont récemment mis en évidence l'importance de la confiance que l'athlète ressent avant le RST [2,21–23]. Selon Glazer et al. [24], les appréhensions, la peur et l'anxiété d'un athlète sont associés à un risque supérieur de récurrence ainsi qu'à des effets négatifs sur la performance. L'évaluation de ces sensations subjectives devrait ainsi fournir au médecin une information importante en vue d'un RST. Clover et Wall [25] insistent par ailleurs sur l'intérêt de recueillir des informations sur l'aptitude psychologique à revenir sur terrain, via une conversation globalement dirigée par un médecin ou un psychologue. L'utilisation d'un questionnaire spécifique à l'aptitude mentale avant le RST dans les suites d'une LIJ serait pertinente, mais à notre connaissance, il n'existe à ce jour aucun questionnaire spécifique à cette pathologie.

Quatre-vingts quatre pourcents des médecins interrogés ont indiqué prendre en compte la **souplesse musculaire** des IJ comme critère de RST (quatrième critère par ordre d'importance). Si l'association entre un manque de souplesse et un risque majoré de LIJ semble peu claire, Witvrouw et al. [26] avaient trouvé une corrélation entre ces deux paramètres parmi une population de footballeurs élités. Ainsi, malgré une évidence scientifique globalement faible, il apparaît prudent de n'autoriser le RST qu'après récupération complète de souplesse. Une très large majorité des médecins interrogés déclarent exiger une souplesse symétrique des IJ avant le RST (moins de 5% de déficit en comparaison bilatérale). Nous suggérons, en plus de la comparaison bilatérale, d'ajouter une comparaison de souplesse avec un test identique (*Straight leg raise, Passive knee extension test, ...*) réalisé précédemment à la blessure, idéalement en pré-saison. L'athlète blessé serait ainsi comparé par rapport à lui-même, ce qui confère un caractère particulièrement pertinent à cette démarche. Il est cependant nécessaire de réaliser une batterie exhaustive de tests en pré-saison, que nous pourrions qualifier de tests « *carte d'identité* ». Le principe est donc simple : l'athlète réalise, en pré-saison lorsqu'il n'est pas blessé, un ensemble de tests qui servirait de point de comparaison en cas de blessure et de décision de RST. Nous pensons que ce type de batterie de tests, en plus d'identifier certains facteurs de risque lésionnels dès le début de saison, pourrait contribuer à améliorer le processus de prévention secondaire. Dès lors, l'implémentation de cette démarche, dans le

milieu du sport professionnel où les enjeux sportifs et financiers peuvent s'avérer majeurs, semble pertinente.

Cette réflexion sur l'intérêt de mettre en place des tests « *carte d'identité* » de pré-saison devrait être élargie à d'autres épreuves évaluant des qualités indispensables pour le footballeur. Logiquement, une **épreuve spécifique au football** devrait y être incluse. Celle-ci permettrait, à côté de l'identification de la qualité de récupération de certains paramètres après blessure (souplesse, force, ...), de se rapprocher de la discipline sportive et d'ainsi obtenir une image plus complète et cohérente de l'athlète en vue du RST. Étant donné qu'une très nette majorité de médecins ne considère que les sensations subjectives de l'athlète durant un test spécifique au football (sprint 10m ou parcours dribble cônes essentiellement), l'obtention de données plus objectives telles que la comparaison à un test précédent pourrait s'avérer précieuse.

La prise en compte de l'avis du kinésithérapeute et du préparateur physique (respectivement par 89 et 76% des médecins interrogés) souligne l'importance d'un travail et d'une communication d'équipe entre les différents intervenants de l'équipe paramédicale au sens large. Le kinésithérapeute et le préparateur physique, qui ont accompagné l'athlète durant l'ensemble du processus rééducatif, peuvent donc fournir au médecin des informations précieuses quant à la pertinence du RST. Par contre, l'entraîneur de terrain n'est consulté que par 34% des médecins interrogés. Ce taux relativement faible pourrait attester que les médecins ne souhaitent pas que l'entraîneur, qui doit peut-être gérer des objectifs sportifs immédiats importants et pourrait souhaiter un retour rapide de son joueur blessé, n'interfère dans une décision de RST qui ne devrait concerner que l'encadrement médical. Cependant, lorsque se pose cette question du retour compétitif sans restriction, il semble évident que l'athlète aura déjà participé, de manière contrôlée et progressive, à plusieurs sessions d'entraînement avec le groupe. Dès lors, l'opinion de l'entraîneur pourrait s'avérer instructive quant au comportement du joueur dans des phases de jeu spécifiques.

Certaines limitations sont à prendre en compte lors de l'analyse des résultats de cette étude. Premièrement, un biais de sélection ne peut être formellement écarté : il est possible que les médecins qui ont répondu au questionnaire soient les plus sensibilisés à la thématique de la prévention secondaire. Potentiellement, ceux-ci sont peut-être alors également les plus compétents en la matière. À l'opposé, les médecins qui ont refusé de répondre au

questionnaire pourraient avoir décliné l'invitation pour cause de manque de connaissances ou de compétences sur le sujet : la réalité de terrain telle que nous l'avons décrite pourrait donc s'avérer (positivement) surestimée selon une proportion inconnue. Ce biais nous semble cependant atténué par la proportion relativement élevée de médecins (69%) qui ont répondu à notre questionnaire. Deuxièmement, comme dans toute enquête, il apparaît difficile de préjuger de l'expression sincère des réponses. Ainsi, un biais de désirabilité sociale, qui consiste à formuler des réponses dans l'optique de se montrer sous une facette positive, reste possible. L'anonymisation des réponses devrait avoir minimisé ce biais éventuel, mais ce phénomène a potentiellement pu être accru en raison des choix multiples de réponses proposés aux sondés. Enfin, une méthode Delphi aurait pu être utilisée pour définir des convergences et consensus entre les médecins interrogés. Cette méthode consiste à soumettre un questionnaire à un panel représentatif d'experts d'un domaine et puis d'en faire une synthèse des tendances et des avis. Un second questionnaire est ensuite élaboré en fonction des premiers avis et ainsi de suite durant un nombre défini de « rounds » jusqu'à l'obtention d'une convergence aussi forte que possible des réponses.

5. Conclusion

Nous avons observé qu'une très large majorité des médecins (79%) a déclaré prendre en compte un minimum de sept critères pour décider d'une éventuelle reprise compétitive après lésion musculaire des ischio-jambiers chez un footballeur professionnel. Les critères les plus importants étaient : disparition totale des douleurs, normalisation de la force musculaire, sensations subjectives rapportées par le joueur, normalisation de la souplesse musculaire des IJ, et performance à un test spécifique au football. Pour une majorité de ces critères, nous avons observé un manque de consensus sur le choix des paramètres d'évaluation propres à chaque critère ainsi que sur des valeurs-limites permettant d'autoriser ou non la reprise sportive. La comparaison des performances aux tests de reprise sportive avec des tests de pré-saison est peu utilisée par les médecins alors que celle-ci pourrait s'avérer pertinente. Le caractère multidisciplinaire d'une décision de retour sur terrain, avec une large prise en considération de l'opinion du kinésithérapeute et du préparateur physique, a également été mis en évidence. En conclusion, une meilleure prise en compte des paramètres d'évaluation et des valeurs-limites proposés par la littérature scientifique devrait aider le praticien dans sa décision d'autoriser la reprise compétitive après lésion musculaire des ischio-jambiers.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement les clubs de football suivants pour leur participation à cette étude :

Ajaccio, Amiens, Angers, Auxerre, Bastia, Beerschot AC, Bordeaux, Brest, Brugge KV, Caen, Chateauroux, Clermont, Dijon, Eupen, Grenoble, Laval, Le Havre, Le Mans, Lens, Lille, Lorient, Lyon, Monaco, Nantes, Nice, Rennes, Saint-Etienne, Sochaux, Standard de Liège, Strasbourg, Tours, Troyes, Vannes.

Références

1. Fuller CW, Bahr R, Dick RW, Meeuwisse WH. A framework for recording recurrences, reinjuries, and exacerbations in injury surveillance. *Clin J Sport Med*. 2007 May;17(3):197–200.
2. The team physician and return-to-play issues: a consensus statement. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Jul;34(7):1212–4.
3. Brukner P. Return to play--a personal perspective. *Clin J Sport Med*. 2005 Nov;15(6):459–60.
4. Matheson GO, Shultz R, Bido J, Mitten MJ, Meeuwisse WH, Shrier I. Return-to-play decisions: are they the team physician's responsibility? *Clin J Sport Med*. 2011 Jan;21(1):25–30.
5. Creighton DW, Shrier I, Shultz R, Meeuwisse WH, Matheson GO. Return-to-play in sport: a decision-based model. *Clin J Sport Med*. 2010 Sep;20(5):379–85.
6. Shrier I. Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making. *Br J Sports Med*. 2015 Oct;49(20):1311–5.
7. Ekstrand J, Gillquist J. Soccer injuries and their mechanisms: a prospective study. *Med Sci Sports Exerc*. 1983;15(3):267–70.
8. Arnason A, Gudmundsson A, Dahl HA, Johannsson E. Soccer injuries in Iceland. *Scand J Med Sci Sports*. 1996 Feb;6(1):40–5.
9. Hawkins RD, Fuller CW. A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. *Br J Sports Med*. 1999 Jun;33(3):196–203.
10. Junge A, Dvorak J. Soccer injuries: a review on incidence and prevention. *Sports Med*. 2004;34(13):929–38.
11. Walden M, Hagglund M, Ekstrand J. Injuries in Swedish elite football--a prospective study on injury definitions, risk for injury and injury pattern during 2001. *Scand J Med Sci Sports*. 2005 Apr;15(2):118–25.
12. Walden M, Hagglund M, Ekstrand J. UEFA Champions League study: a prospective study of injuries in professional football during the 2001-2002 season. *Br J Sports Med*. 2005 Aug;39(8):542–6.
13. Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Intrinsic risk factors for hamstring injuries among male soccer players: a prospective cohort study. *Am J Sports Med*. 2010 Jun;38(6):1147–53.
14. Croisier J-L, Forthomme B, Namurois M-H, Vanderthommen M, Crielaard J-M. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med*. 2002 Apr;30(2):199–203.
15. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*. 2008 Aug;36(8):1469–75.
16. Bowen TR, Feldmann DD, Miller MD. Return to play following surgical treatment of meniscal and chondral injuries to the knee. *Clin Sports Med*. 2004 Jul;23(3):381–93.
17. Kvist J. Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. *Sports Med*. 2004;34(4):269–80.
18. Orchard J, Best TM, Verrall GM. Return to play following muscle strains. *Clin J Sport Med*. 2005 Nov;15(6):436–41.
19. Diehl JJ, Best TM, Kaeding CC. Classification and return-to-play considerations for stress fractures. *Clin Sports Med*. 2006 Jan;25(1):17–28.
20. Croisier J-L. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med*. 2004;34(10):681–95.
21. Bauman J. Returning to play: the mind does matter. *Clin J Sport Med*. 2005 Nov;15(6):432–5.
22. McCarty EC, Ritchie P, Gill HS, McFarland EG. Shoulder instability: return to play. *Clin Sports Med*. 2004 Jul;23(3):335–51.
23. Langford JL, Webster KE, Feller JA. A prospective longitudinal study to assess psychological changes following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Br J Sports Med*. 2009 May;43(5):377–81.

24. Glazer DD. Development and preliminary validation of the Injury-Psychological Readiness to Return to Sport (I-PRRS) scale. *J Athl Train*. 2009 Apr;44(2):185–9.
25. Clover J, Wall J. Return-to-play criteria following sports injury. *Clin Sports Med*. 2010 Jan;29(1):169–75.
26. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med*. 2003 Feb;31(1):41–6.

Étude 2

Retour au sport après plastie du Ligament Croisé Antérieur : critères utilisés dans les clubs professionnels de football

François Delvaux¹, Pierre Rochcongar², Olivier Bruyère³, Christophe Daniel⁴,
Jean-Yves Reginster³, Jean-Louis Croisier¹

¹ *Département des Sciences de la Motricité, Université et CHU de Liège, Liège, Belgique*

² *Département de Biologie et de Médecine du Sport, CHU Pontchaillou, Rennes, France ; Ligue Professionnelle de Football*

³ *Département de Santé Publique, Epidémiologie et Economie de la Santé, Université et CHU de Liège, Liège, Belgique*

⁴ *Département de Chirurgie Orthopédique, CHU de Liège, Liège, Belgique*

Science & Sports 2015 Feb;30(1):33-40.

Résumé

Objectifs

Analyser la démarche suivie par les médecins de clubs professionnels de football lorsqu'ils décident, en pratique quotidienne, d'autoriser le retour compétitif après plastie du ligament croisé antérieur chez un footballeur.

Matériels et Méthodes

Trente-sept médecins responsables de clubs professionnels de football français et belges (Ligue 1, n=15 ; Ligue 2, n=14 ; Division 1 belge, n=8) ont rempli un questionnaire à choix multiples concernant : 1) les critères utilisés afin de déterminer si un joueur est apte à reprendre la compétition après plastie du ligament croisé antérieur ; 2) l'importance relative de chacun de ces critères ; 3) le rôle éventuel d'intervenants spécifiques (kinésithérapeute, entraîneur) dans cette décision.

Résultats

Plus de 80% des médecins interrogés ont déclaré utiliser au moins huit critères (sur 17 proposés) afin d'évaluer la capacité d'un footballeur à reprendre la compétition après plastie du ligament croisé antérieur. Les trois critères considérés comme les plus déterminants étaient, par ordre d'importance : la stabilité dynamique du genou lors d'un exercice spécifique au football, la force musculaire et la récupération complète ou quasi complète d'amplitudes articulaires de flexion et d'extension de genou. Pour certains de ces critères (notamment la force musculaire), nous constatons cependant un manque de consensus sur les modalités pratiques d'évaluation, sur les paramètres ainsi que sur les valeurs limites tolérées afin de garantir un retour sur terrain sécurisé. La prise en compte de l'avis du kinésithérapeute et du préparateur physique par une très nette majorité de médecins souligne l'importance d'une concertation pluridisciplinaire.

Conclusion

L'utilisation de différents critères objectifs afin d'autoriser le retour compétitif après plastie du ligament croisé antérieur semble être une réalité dans le football professionnel. Des études supplémentaires devraient cependant contribuer à préciser les modalités des épreuves ainsi que des valeurs seuils.

Mots-clés

Plastie ligament croisé antérieur ; Retour sur terrain ; Football ; Questionnaire ; Prévention lésionnelle.

1. Introduction

La rupture du ligament croisé antérieur (LCA) représente l'une des lésions du genou parmi les plus sérieuses, en particulier pour la durée d'arrêt occasionnée. Parmi les athlètes qui reprendront le sport après plastie du LCA (PLCA), on estime que 6 à 25% d'entre eux subiront une nouvelle rupture de ce ligament (en homo- ou controlatéral) [1–4], soit un risque supérieur à des sujets sains. Il est par ailleurs communément admis que les résultats d'une seconde ligamentoplastie restent inférieurs à ceux obtenus suivant la première intervention (laxité plus importante, taux supérieur de rupture du néo-ligament, dégénérescence méniscale, lésions cartilagineuses, ...) [5,6]. De plus, il est suggéré que certains facteurs comme une réduction de la qualité du contrôle neuromusculaire, un déséquilibre musculaire ou encore des perturbations de la biomécanique de course ou de sauts, facteurs qui sont régulièrement rencontrés après PLCA, augmentent le risque de développer d'autres lésions des membres inférieurs [7].

En conséquence, lorsqu'un athlète est susceptible de reprendre son activité sportive compétitive sans restriction après un premier épisode de PLCA, il apparaît essentiel d'évaluer avec précision le risque de récurrence. Selon Creighton [8] et son modèle théorique destiné à aider le médecin à prendre une décision de retour sur terrain (RST) après blessure (*cfr chapitre « Introduction générale »*), la première étape consiste à établir un bilan médical complet de l'athlète (historique de la blessure, symptômes, tests cliniques, tests de laboratoire et tests fonctionnels) pour évaluer la qualité de récupération de l'athlète. A cet égard, peu d'études ont permis d'identifier une relation entre évaluations spécifiques et risque de récurrence [9]. Certains auteurs ont cependant proposé d'utiliser des critères objectifs et subjectifs de RST, avec également des valeurs limites à atteindre avant de reprendre l'activité sportive sans restriction [10–12] et leur implémentation en pratique quotidienne de médecine sportive semble possible.

Dans ce contexte, il apparaît pertinent d'analyser sur quelles bases un médecin sportif décide d'autoriser le RST sans restriction chez un athlète ayant subi une reconstruction du LCA. Dans le football professionnel, qui génère un nombre important de rupture du LCA, même si le chirurgien orthopédique intervient dans le suivi post-opératoire, la décision finale d'autoriser le RST revient au médecin du club. Ainsi, l'objectif de ce travail consiste à analyser la manière

dont les médecins de clubs professionnels de football décident d'autoriser le RST sans restriction chez un joueur après PLCA.

2. Matériels et méthodes

En collaboration avec la *Fédération Française de Football* et l'*Union Royale Belge des Sociétés de Football Association*, les médecins de clubs de football professionnel (France : *Ligue 1* et *Ligue 2*; Belgique : *Division 1*) ont été invités à répondre, via e-mail, à un questionnaire anonymisé. Afin de développer ce questionnaire, une revue de littérature exhaustive concernant les critères de retour compétitif après rupture du LCA a été réalisée. Sur base de celle-ci, une formulation sous forme de questions à choix multiples (QCM) a ensuite été élaborée. Le questionnaire a ensuite été approuvé par trois experts en Médecine Sportive et en Santé Publique.

Trois parties composaient ce questionnaire. La première d'entre elles posait la question suivante : « *Dans votre pratique quotidienne, utilisez-vous les critères suivants pour déterminer si un joueur de football, en fin de rééducation après ligamentoplastie du LCA, est apte à reprendre la compétition ?* ». Une liste de 18 critères potentiels était proposée, et le médecin interrogé devait répondre par oui ou non pour chacun d'entre eux : (1) respect d'une durée théorique minimale d'arrêt compétitif ; (2) sensations subjectives du sportif ; (3) disparition complète des douleurs ; (4) disparition totale de l'œdème ; (5) imagerie médicale ; (6) récupération d'amplitudes complètes de flexion et extension de genou ; (7) souplesse musculaire ; (8) absence de laxité du genou ; (9) stabilité dynamique du genou lors de gestes spécifiques au football (ex : course avec changements de direction) ; (10) performances musculaires ; (11) test fonctionnel général (ex : Hop tests) ; (12) test spécifique au football ; (13) test proprioceptif ; (14) analyse de la course ; (15) facteur de type morphologique et correction éventuelle ; (16) analyse EMG de l'activité fonctionnelle du quadriceps et des ischio-jambiers ; (17) condition physique ; (18) autre critère. Pour certains de ces critères, une ou plusieurs questions plus détaillées étaient posées et formulées également sous forme de QCM.

Dans la seconde partie du questionnaire, il était demandé de classer de 1 à 18 les critères précédents en fonction de l'importance que les médecins interrogés leur accordaient dans leur pratique quotidienne : 1 = le critère le plus important pour déterminer si le joueur est apte à reprendre la compétition ; 18 = le critère le moins important.

Enfin, la troisième partie était centrée sur la question suivante : « *Dans votre décision d'autoriser le joueur à reprendre la compétition, tenez-vous compte de l'avis des intervenants suivants* » ? Les réponses proposées étaient : (1) kinésithérapeute ; (2) préparateur physique ; (3) entraîneur de terrain ; (4) autre(s). Quelques questions d'informations générales (âge, expérience dans le football professionnel, spécialisation professionnelle) clôturaient le formulaire.

Cette étude a été approuvée par le Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire de l'Université et du CHU de Liège.

3. Résultats

Trente-sept médecins de clubs de football professionnel ont complété le questionnaire. La moyenne d'âge était de 46 ± 7 ans et le nombre d'années d'expérience professionnelle dans le football de haut niveau atteignait 12 ± 6 ans. Quinze questionnaires ont été complétés par des médecins responsables de clubs de *Ligue 1* française, 14 de *Ligue 2* française, et 8 de *Division 1* belge.

Plus de 70% des participants ont déclaré prendre en compte un minimum de onze critères de RST après PLCA (figure 1). Les critères « stabilité dynamique du genou lors d'un exercice spécifique » et « performance musculaire » sont utilisés par 100% des médecins interrogés.

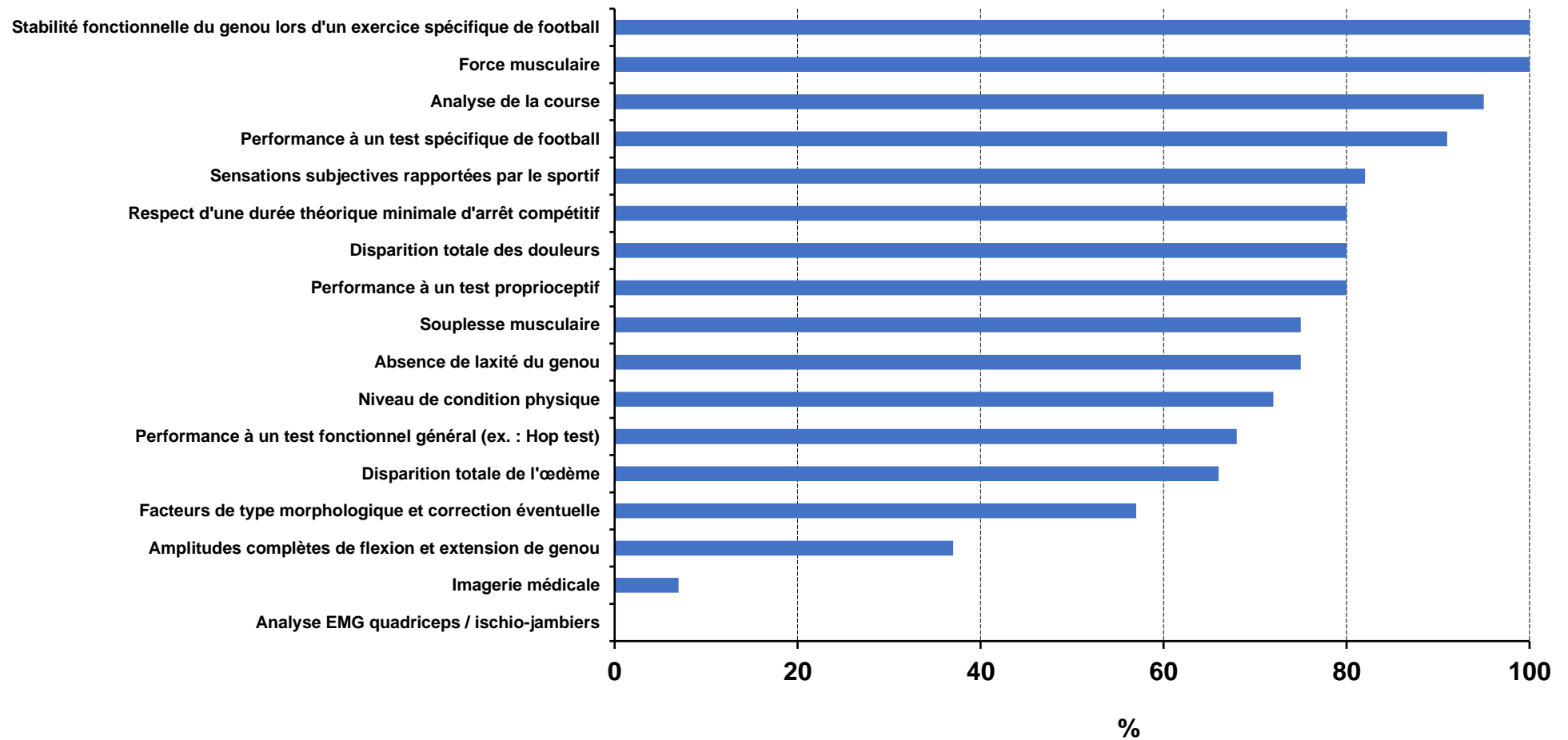


Figure 1. Réponses à la question : « Dans votre pratique quotidienne, utilisez-vous les critères suivants pour déterminer si un joueur de football, en fin de rééducation après plastie du LCA, est apte à reprendre la compétition ? ». Graphique exprimé en pourcentage de réponses positives

La stabilité dynamique du genou lors d'un exercice spécifique au football est appréciée par l'ensemble des médecins via les sensations subjectives du joueur lors d'une discussion informelle juste après l'effort. Soixante-huit pour cent considèrent en plus les observations visuelles de l'examineur et 16% utilisent une autre méthode (questionnaire ou analyse de mouvement à l'aide d'une technologie spécifique).

La performance musculaire est majoritairement réalisée grâce à un dynamomètre isocinétique (87% des sondés), et est parfois complétée par un testing manuel (47 %) ou une évaluation sur appareil de type fitness (16 %).

Quatre-vingts trois pour cent des médecins interrogés évaluent la force des ischio-jambiers (IJ) aussi bien en mode concentrique qu'en mode excentrique. La force du quadriceps (Q) est appréciée de manière nettement plus fréquente en mode concentrique (97%) qu'en mode excentrique (54%).

A la question « Sur quel(s) élément(s) vous basez-vous pour déterminer que la force musculaire est acceptable ? », 84% des sondés comparent le côté pathologique avec le côté sain et 80% considèrent le rapport agoniste/antagoniste (IJ/Q) (figure 2).

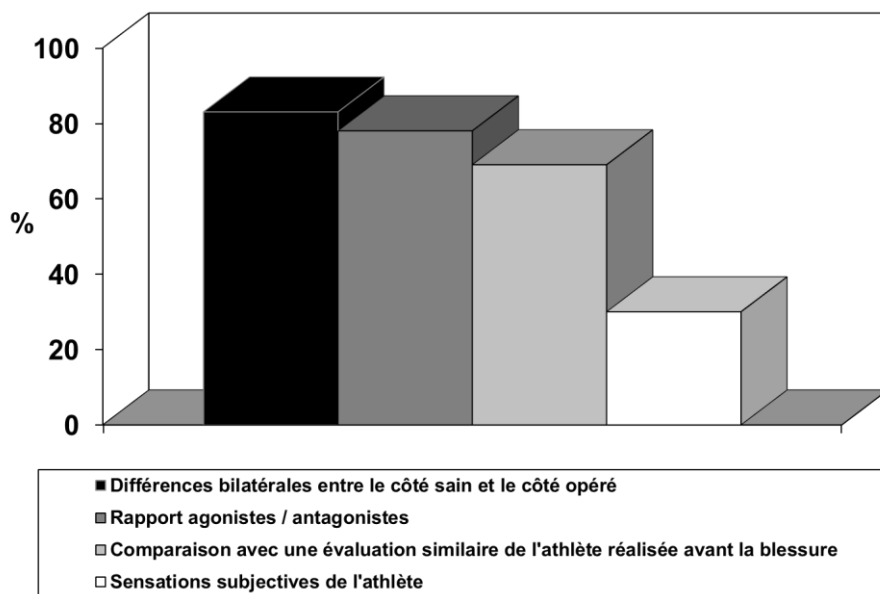


Figure 2. Réponses à la sous-question relative à l'évaluation de la force musculaire : « Sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que la force musculaire est acceptable ? »

Parmi les médecins qui comparent le côté pathologique avec le côté sain, 24% d'entre eux estiment que la différence bilatérale ne doit pas dépasser 5% ; 36% tolèrent jusqu'à 10% de différence ; 31% jusqu'à 15%, et 9% autorisent un déficit bilatéral pouvant atteindre 20% (figure 3).

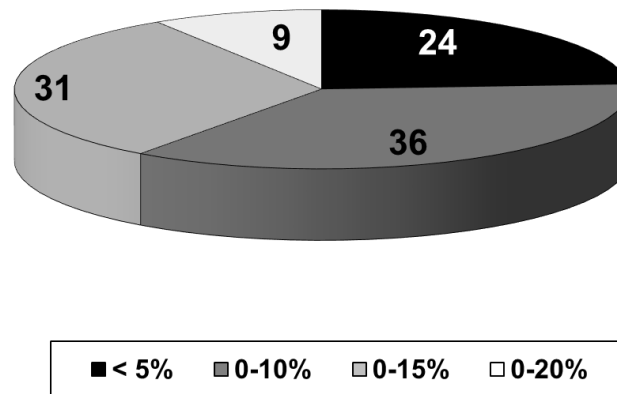


Figure 3. Réponses à la question : « Quelle différence maximale tolérez-vous entre les moments de force maximale développés par le côté sain et le côté lésé ? »

Les déficits d'amplitudes articulaires de flexion et d'extension autorisés pour le retour à la compétition sont repris dans la figure 4 : si une large majorité des sondés ne tolère aucun (76%) voire un maximum de 5 degrés de déficit d'extension (24%), l'opinion des médecins est beaucoup plus partagée en ce qui concerne le manque de flexion qui peut atteindre 15 degrés pour 13% d'entre eux.

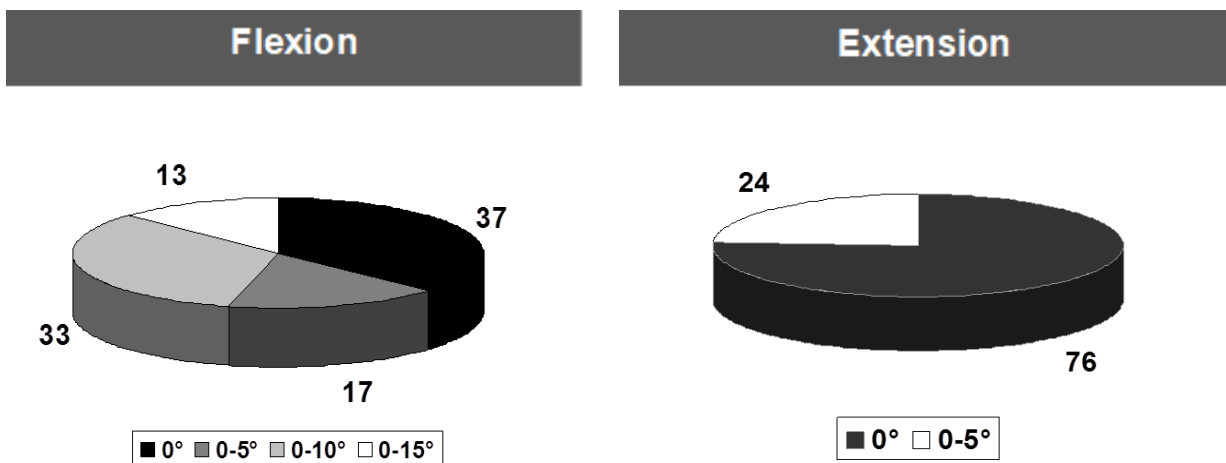


Figure 4. Réponses à la question : « Quel déficit bilatéral maximal d'amplitudes articulaires de flexion et extension de genou tolérez-vous ? »

Comme représenté dans le tableau 1, les critères les plus importants pour déterminer que le joueur est apte à reprendre la compétition sont (par ordre d'importance) (1) la stabilité dynamique du genou lors de gestes spécifiques au football ; (2) la force musculaire ; (3) la récupération d'amplitudes articulaires de flexion et extension de genou.

Tableau 1. Classement, par ordre d'importance, des critères utilisés par les médecins interrogés pour déterminer le retour compétitif après PLCA

Classement	Critère
1	Stabilité dynamique du genou lors d'un exercice spécifique au football
2	Force musculaire
3	Récupération d'amplitudes de flexion et extension de genou
4	Sensations subjectives rapportées par le sportif
5	Disparition totale des douleurs
6	Absence de laxité du genou
7	Performance à un test spécifique au football
8	Disparition totale de l'œdème
9	Respect d'une durée théorique minimale d'arrêt compétitif
10	Performance à un test de proprioception
11	Performance à un test fonctionnel général (exemple : hop test)
12	Souplesse musculaire
13	Analyse de la course
14	Niveau de condition physique
15	Facteurs de type morphologique et correction éventuelle
16	Imagerie médicale
17	Analyse EMG de l'activité fonctionnelle du quadriceps et des ischio-jambiers
18	Autre critère

Enfin, la prise en compte de l'avis de certains intervenants semble essentielle (figure 5), particulièrement le kinésithérapeute (97%) et le préparateur physique (91%). L'opinion de l'entraîneur principal de terrain n'est par contre pas prise en compte par la majorité des médecins interrogés (40%).

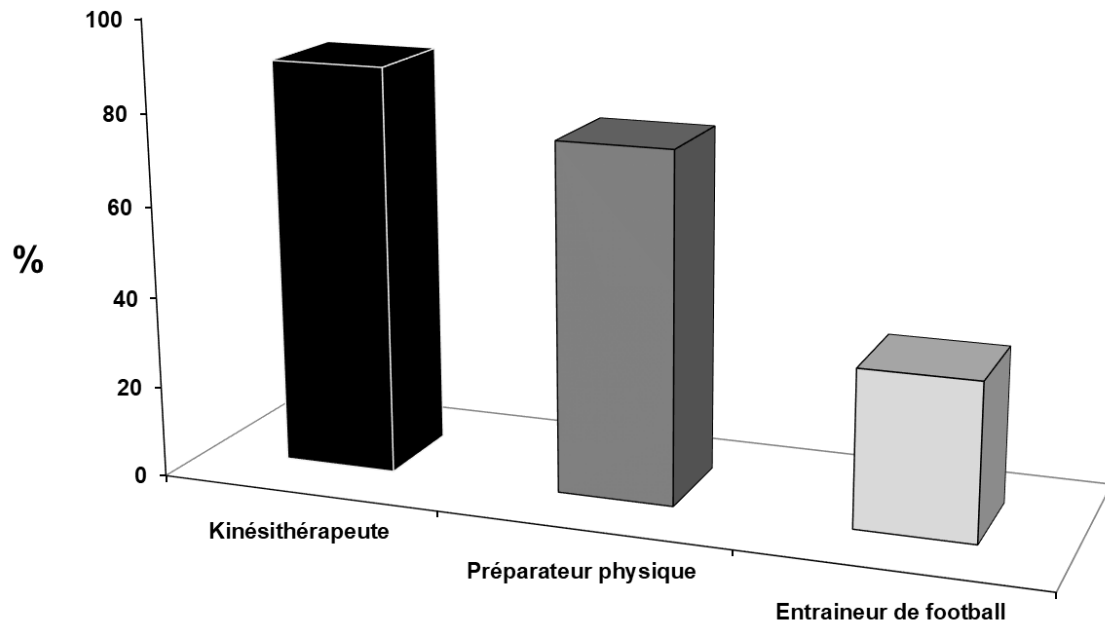


Figure 5. Réponses à la question : « Dans votre décision d'autoriser le joueur à reprendre la compétition, tenez-vous compte de l'avis des intervenants suivants ? »

4. Discussion

L'objectif de cette étude était de réaliser un état des lieux des pratiques de terrain concernant la manière dont les médecins de clubs professionnels de football décident d'autoriser le retour à la compétition de joueurs ayant subi une PLCA. Au total, cinquante-quatre médecins ont été contactés avec l'aide des associations française et belge des médecins de clubs de football professionnel. Nous avons récolté trente-sept questionnaires complétés intégralement, ce qui signifie un taux de retour intéressant de 69%, témoignant de l'intérêt des médecins pour cette thématique.

Vu l'absence de questionnaire spécifique, nous avons développé notre propre modèle. Dans le but d'offrir une analyse statistique pertinente et objective, nous avons créé une formulation en QCM en respectant plusieurs étapes bien définies. La première d'entre elles a consisté en une revue exhaustive de la littérature relative aux critères de RST après PLCA. Ensuite, après évaluation de ces critères par trois experts en médecine sportive ou chirurgie orthopédique, une formulation en QCM a été établie avec l'aide d'un expert en Epidémiologie et Santé Publique. Le questionnaire final semblait parfaitement compréhensible et pertinent, puisque l'option « autre réponse », présente pour chaque question au même titre que des réponses spécifiques, n'a jamais été choisie (à l'exception d'un item, coché par moins de 10% des sondés). De plus, aucun commentaire ou remarque n'ont été émis malgré un espace dédié spécialement à cet effet.

Un des résultats les plus intéressants est le nombre élevé de critères utilisés pour autoriser le RST après PLCA : 80% des médecins interrogés déclarent en effet prendre en compte huit critères, et ce nombre grimpe même à onze pour 70% d'entre eux. Ceci apparaît positif et témoigne clairement d'une approche basée sur des critères objectifs plutôt que sur des délais théoriques de récupération. En effet, il est communément admis que la variabilité interindividuelle est élevée dans la récupération des capacités fonctionnelles après PLCA [12]. Une approche essentiellement basée sur des délais théoriques postopératoires semble donc désuète et potentiellement dangereuse en regard du risque de récurrence.

La **stabilité dynamique du genou lors d'exercices spécifiques** au football représente, au même titre que la performance musculaire, un critère plébiscité par la totalité des sondés. S'il existe une multitude d'épreuves explosives spécifiques au football, la principale difficulté consiste cependant à déterminer sur quelle base la stabilité fonctionnelle du genou n'est pas satisfaisante. Dans notre étude, les médecins considèrent surtout les sensations subjectives du joueur (94%) et/ou une observation visuelle d'un examinateur expérimenté (67%). Une analyse biomécanique tridimensionnelle pourrait compléter judicieusement l'évaluation de cette stabilité dynamique : une relation a en effet été mise en évidence entre certains paramètres biomécaniques lors de l'atterrissage d'un saut en contrehaut (par exemple l'angle élevé d'abduction de genou dans le plan frontal, soit le valgus dynamique), et le risque de récurrence de lésion du LCA [1].

La **performance musculaire** est aussi considérée comme un critère essentiel de RST par tous les médecins interrogés. Ce constat ne semble pas étonnant, vu les sollicitations élevées du football de haut niveau sur l'appareil musculo-squelettique, et l'importance des qualités musculaires dans la protection des structures passives capsulo-ligamentaires [13]. En revanche, les sous-questions que nous avons posées indiquent que la manière de mettre en évidence une éventuelle anomalie musculaire apparaît parfois fort différente parmi les sondés. Une très large majorité de médecins (87%) déclare utiliser le dynamomètre isocinétique pour évaluer les performances musculaires. Parmi les 13% n'utilisant pas cet outil, l'absence d'intérêt ou de possession de dynamomètre isocinétique en étaient les raisons invoquées. Dans le monde du football professionnel, il nous semble surprenant de se passer de cette méthode « gold standard » : le testing manuel ou l'appareil de type « fitness », même associé avec des technologies modernes comme des accéléromètres, pourra difficilement fournir des informations aussi pertinentes que l'isocinétisme (équilibre agoniste/antagoniste, asymétrie de force et qualités de force relative, le tout pour différents modes de contraction et vitesses angulaires).

La quasi-totalité (97%) des sujets interrogés évalue la force du quadriceps en mode concentrique, et ils sont cependant 54% à tester ce muscle en mode excentrique, ce qui peut surprendre. En effet, le développement de moments de force maximaux physiologiquement plus élevés en excentrique qu'en concentrique pourrait majorer le phénomène de translation

tibiale (partie proximale) antérieure et donc les risques lésionnels sur la plastie lors de contractions maximales du quadriceps [14]. De plus, la force développée par le quadriceps en mode excentrique ne représente pas un élément nécessaire à la confection de ratios agonistes/antagonistes. Enfin, le mode excentrique semble peu spécifique à l'action du quadriceps durant la pratique du football, ce qui pourrait rendre cette donnée dispensable. La force des IJ est quant à elle évaluée autant en mode excentrique qu'en mode concentrique par 83% des sondés. Le rôle fondamental des IJ en mode excentrique, qui présentent une action agoniste au LCA [15,16] afin de freiner l'extension violente du genou et la translation tibiale antérieure lors d'une contraction quadricipitale, explique probablement l'intérêt des médecins pour une évaluation tant concentrique qu'excentrique. L'observation du rapport entre les fléchisseurs et extenseurs de genou, via les ratios IJ/Q, constitue également une raison essentielle d'évaluer la force du quadriceps en mode concentrique et des IJ en modes excentrique et concentrique. Comme le rappellent Kaux et al. dans une récente revue narrative [17], certains auteurs ont associé un ratio IJ/Q réduit avec un risque supérieur de rupture du LCA [18–20], essentiellement chez des footballeuses. Ce lien entre déséquilibre IJ/Q et risque lésionnel sur le LCA, s'il n'a pas été mis en évidence chez des sujets masculins, témoigne cependant de l'intérêt d'évaluer la force musculaire et d'analyser l'équilibre IJ/Q. Dès lors, les 20% de médecins interrogés qui n'établissent pas de ratios IJ/Q se privent d'une information qui nous semble importante dans la perspective de réduire le risque de récurrence après PLCA. Soulignons également qu'une insuffisance de force excentrique des IJ majore considérablement la probabilité de développer une lésion instantanée de ce groupe musculaire [21], dès lors le risque de lésion musculaire post-PLCA devrait être pris en compte dans l'évaluation isocinétique, particulièrement en mode excentrique.

L'opinion des médecins interrogés est nettement plus partagée lorsqu'il s'agit de définir des valeurs limites en termes de différences bilatérales : il ne semble pas y avoir de consensus sur la question. Ce constat n'est pas étonnant car la littérature spécialisée nous renseigne également des différences notoires entre auteurs. Par exemple, parmi les 25 études recensées par Barber-Westyn et Noyes [10] qui détaillent la force musculaire en tant que critère de RST après PLCA, les différences bilatérales tolérées variaient entre 10 et 20%. De notre point de vue, les contraintes physiologiques très élevées imposées aux genoux de footballeurs de haut niveau nous autorisent à considérer qu'une différence bilatérale de plus de 10% représente

une valeur n'autorisant pas le RST après blessure, d'autant plus qu'il est possible d'obtenir une récupération complète dans au moins 85% des cas [21,22].

La **récupération d'amplitudes complètes de flexion et extension** de genou ne représente un critère de RST que pour une minorité de médecins interrogés. En effet, si trois médecins sur quatre ne tolèrent aucun déficit d'extension, ils ne sont que 37% à n'accepter aucune perte de flexion (par comparaison avec le côté sain). Cette différence pourrait s'expliquer par le fait qu'un léger déficit d'extension aura des implications plus importantes sur la biomécanique de course ou de sauts qu'un léger déficit de flexion. Cependant, la pratique du football de compétition à haut niveau requiert parfois des mouvements d'amplitudes de flexion maximales (par exemple mouvement de tackle), et une récupération totale serait préférable. Dans ses recommandations pour la pratique clinique concernant le suivi en rééducation après PLCA, la Haute Autorité de la Santé propose la reprise des activités sportives si, entre autres conditions, la « mobilité est fonctionnelle ». Certaines études plus récentes considèrent cependant que le RST ne peut être autorisé que lorsque des amplitudes complètes de flexion et d'extension du genou sont acquises [10].

Le classement des critères par ordre d'importance ne révèle que peu de différences interindividuelles entre les médecins interrogés. Les trois critères considérés comme les plus importants sont : stabilité dynamique du genou lors d'un exercice spécifique de football, performance musculaire et récupération d'amplitudes articulaires de flexion et extension de genou acceptables. L'imagerie par résonance magnétique, classée en avant-dernière position, n'est pas donc pas considérée comme un critère important de RST. S'il peut représenter un outil de suivi postopératoire, il semble effectivement essentiel de prendre préférentiellement en compte des critères fonctionnels qui témoigneront plus fidèlement de l'aptitude du sportif à reprendre la compétition. Parmi ces épreuves fonctionnelles, la réalisation de « hop tests » n'apparaît classée qu'en onzième position. Cette batterie de hop tests comporte généralement plusieurs parties : single hop, triple hop, triple crossover hop et 6-m timed hop [23–26]. Plusieurs auteurs insistent sur l'intérêt de combiner une évaluation isocinétique avec cette batterie de hop tests [10,12,26,27], et sur l'importance de calculer, pour chacun des hop tests, un index de symétrie. Généralement, ces auteurs conseillent de n'autoriser le RST que lorsque le déficit bilatéral maximal n'excède pas 10 à 15%.

La prise en compte de l'avis du kinésithérapeute (par 97% des médecins) et du préparateur physique (91%) souligne l'importance d'un travail et d'une communication d'équipe entre les différents intervenants de l'équipe paramédicale au sens large. Les programmes rééducatifs optimaux post-chirurgie LCA se basent en effet désormais sur une succession d'étapes bien déterminées et balisées par des critères objectifs de progression, la dernière étape consistant en l'autorisation de retour à la compétition sans restriction particulière [28,29]. Le kinésithérapeute et le préparateur physique, qui ont accompagné l'athlète durant ces différentes étapes depuis l'intervention chirurgicale, peuvent donc fournir au médecin des informations précieuses quant aux possibilités de RST. Par contre, l'entraîneur de terrain n'est consulté que par 40% des médecins interrogés. Ce taux relativement faible pourrait attester que les médecins ne souhaitent pas que l'entraîneur, qui doit peut-être gérer des objectifs sportifs immédiats importants et souhaite un retour rapide de son joueur blessé, n'interfère dans une décision de RST qui ne devrait concerner que l'encadrement médical. Cependant, lorsque se pose cette question du retour compétitif sans restriction, il semble évident que l'athlète aura déjà participé, de manière contrôlée et progressive, à plusieurs sessions d'entraînement avec le groupe. Dès lors, l'opinion de l'entraîneur pourrait s'avérer instructive quant au comportement du joueur dans des phases de jeu spécifiques.

Les résultats de cette étude doivent être interprétés en connaissance de plusieurs limitations. Premièrement, un biais de sélection ne peut être formellement écarté : il est possible que les médecins qui ont répondu au questionnaire soient les plus sensibilisés à la thématique de la prévention secondaire. Potentiellement, ceux-ci sont peut-être alors également les plus compétents en la matière. À l'opposé, les médecins qui ont refusé de répondre au questionnaire pourraient avoir décliné l'invitation pour cause de manque de connaissances ou de compétences sur le sujet : la réalité de terrain telle que nous l'avons décrite pourrait donc s'avérer positivement surestimée dans une proportion inconnue. Ce biais nous semble cependant atténué par la proportion relativement élevée de médecins (69%) qui ont répondu à notre questionnaire. Deuxièmement, comme dans toute enquête, il apparaît difficile de préjuger de l'expression sincère des réponses. Ainsi, un biais de désirabilité sociale, qui consiste à formuler des réponses dans l'optique de se montrer sous une facette positive, reste possible. L'anonymisation des réponses devrait avoir minimisé ce biais éventuel, mais ce phénomène a potentiellement pu être accru en raison des choix multiples de réponses proposés aux sondés.

Enfin, une méthode Delphi aurait pu être utilisée pour définir des convergences et consensus entre les médecins interrogés. Cette méthode consiste à soumettre un questionnaire à un panel représentatif d'experts d'un domaine et puis d'en faire une synthèse des tendances et des avis. Un second questionnaire est ensuite élaboré en fonction des premiers avis et ainsi de suite durant un nombre défini de « rounds » jusqu'à l'obtention d'une convergence aussi forte que possible des réponses.

5. Conclusion

Plus de 80% des médecins de clubs professionnels de football interrogés dans cette étude déclarent utiliser au moins huit critères afin d'évaluer la capacité d'un footballeur à reprendre la compétition après plastie du LCA. Les trois critères considérés comme les plus déterminants sont, par ordre d'importance : la stabilité dynamique du genou lors d'un exercice spécifique au football, la force musculaire et la récupération complète ou quasi complète d'amplitudes articulaires de flexion et d'extension de genou. Si le nombre élevé de critères permet certainement de cibler au mieux la capacité du sportif à reprendre la compétition, il subsiste cependant un manque de consensus sur les modalités pratiques d'évaluation ainsi que sur les valeurs limites tolérées afin de garantir un RST sécurisé. Ce constat provient certainement d'une part, d'un manque d'évidence scientifique concernant les critères qu'un sportif doit remplir avant la reprise sportive, mais aussi d'autre part, d'un manque de transposition vers la pratique quotidienne de lignes de conduite proposées dans la littérature spécialisée. Des études supplémentaires sont donc nécessaires pour identifier précisément les modalités de mise en pratique de critères de RST (types d'épreuves, valeurs-limites).

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement les Docteurs Pierre Diverse et Jean-François Kaux pour leur aide précieuse, Monsieur Guillaume Bourlet ainsi que les clubs de football suivants pour leur participation à cette étude :

Ajaccio, Amiens, Angers, Auxerre, Bastia, Beerschot AC, Bordeaux, Brest, Brugge KV, Caen, Chateauroux, Clermont, Dijon, Eupen, Grenoble, Laval, Le Havre, Le Mans, Lens, Lille, Lorient, Lyon, Monaco, Nantes, Nice, Rennes, Saint-Etienne, Sochaux, Standard de Liège, Strasbourg, Tours, Troyes, Vannes.

Références

1. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010 Oct;38(10):1968–78.
2. Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. *Am J Sports Med.* 2007 Apr;35(4):564–74.
3. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005 Aug;21(8):948–57.
4. Wright RW, Dunn WR, Amendola A, Andrish JT, Bergfeld J, Kaeding CC, et al. Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective MOON cohort study. *Am J Sports Med.* 2007 Jul;35(7):1131–4.
5. Battaglia MJ 2nd, Cordasco FA, Hannafin JA, Rodeo SA, O'Brien SJ, Altchek DW, et al. Results of revision anterior cruciate ligament surgery. *Am J Sports Med.* 2007 Dec;35(12):2057–66.
6. Carson EW, Anisko EM, Restrepo C, Panariello RA, O'Brien SJ, Warren RF. Revision anterior cruciate ligament reconstruction: etiology of failures and clinical results. *J Knee Surg.* 2004 Jul;17(3):127–32.
7. Hewett TE, Di Stasi SL, Myer GD. Current concepts for injury prevention in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013 Jan;41(1):216–24.
8. Creighton DW, Shrier I, Shultz R, Meeuwisse WH, Matheson GO. Return-to-play in sport: a decision-based model. *Clin J Sport Med.* 2010 Sep;20(5):379–85.
9. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RSJ, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005 Apr;33(4):492–501.
10. Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. Vol. 27. United States; 2011.
11. Thomee R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D, et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Nov;19(11):1798–805.
12. Kvist J. Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. *Sports Med.* 2004;34(4):269–80.
13. Sinkjær T, Arendt-Nielsen L. Knee stability and muscle coordination in patients with anterior cruciate ligament injuries: An electromyographic approach. *J Electromyogr Kinesiol.* 1991 Sep;1(3):209–17.
14. Croisier J-L, Gremeaux V, Maquet D, Crielaard J-M, Forthomme B. Evaluation excentrique après plastie du LCA : modalités et profils. 2009; In: Exercice musculaire excentrique; Ed. Masson.
15. Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med.* 1987 Jun;15(3):207–13.
16. More RC, Karras BT, Neiman R, Fritschy D, Woo SL, Daniel DM. Hamstrings--an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. *Am J Sports Med.* 1993 Apr;21(2):231–7.
17. Kaux J-F, Forthomme B, Crielaard J-M, Croisier J-L. The risk factors for rupture of the anterior cruciate ligament of the knee: the neuromuscular state. *OA Sports Med.* 2013;1(1):1–5.
18. Söderman K, Adolphson J, Lorentzon R, Alfredson H. Injuries in adolescent female players in European football: a prospective study over one outdoor soccer season. *Scand J Med Sci Sports.* 2001 Oct;11(5):299–304.

19. Ebben WP, Fauth ML, Petushek EJ, Garceau LR, Hsu BE, Lutsch BN, et al. Gender-based analysis of hamstring and quadriceps muscle activation during jump landings and cutting. *J Strength Cond Res.* 2010 Feb;24(2):408–15.
20. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med.* 2006 Mar;34(3):490–8.
21. Croisier J-L, Forthomme B, Namurois M-H, Vanderthommen M, Crielaard J-M. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med.* 2002 Apr;30(2):199–203.
22. Delvaux F, Rochcongar P, Bruyere O, Bourlet G, Daniel C, Diverse P, et al. Return-to-play criteria after hamstring injury: actual medicine practice in professional soccer teams. *J Sports Sci Med.* 2014 Sep;13(3):721–3.
23. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med.* 1991 Oct;19(5):513–8.
24. Grindem H, Logerstedt D, Eitzen I, Moksnes H, Axe MJ, Snyder-Mackler L, et al. Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function in nonoperatively treated individuals with anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2011 Nov;39(11):2347–54.
25. Reinke EK, Spindler KP, Loring D, Jones MH, Schmitz L, Flanigan DC, et al. Hop tests correlate with IKDC and KOOS at minimum of 2 years after primary ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Nov;19(11):1806–16.
26. Hartigan EH, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Time line for noncopers to pass return-to-sports criteria after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010 Mar;40(3):141–54.
27. Jang K-M, Chang M, Bae TS, Kim JG, Jung JS, Kyung BS, et al. Effect of axial loading during knee flexion on ACL end-to-end distance in healthy and ACL-deficient knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015 Apr;23(4):1179–87.
28. van Grinsven S, van Cingel REH, Holla CJM, van Loon CJM. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010 Aug;18(8):1128–44.
29. Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Hewett TE. Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):987–1014.

Étude 3

Stratégies de prévention de blessures : les entraîneurs de football en tant qu'acteurs

François Delvaux^{1,2,3}, Cédric Schwartz², Jean-François Kaux^{1,3}, Gilles Berwart², Jean-Louis Losfeld⁴, Xavier Donnay⁴, Thierry Siquet⁴, Daniel Boccar⁴, Jean-Louis Croisier^{1,2,3}

¹ *Département des Sciences de la Motricité, Université et CHU de Liège, Liège, Belgique*

² *Laboratoire d'Analyse du Mouvement Humain, Université de Liège, Liège, Belgique*

³ *Réseau Francophone Olympique sur la Recherche en Médecine du Sport (ReFORM)*

⁴ *Association des Clubs Francophones de Football, Bruxelles, Belgique*

Article en cours de soumission

Résumé

Objectifs

Évaluer les stratégies de prévention de blessures réellement appliquées au quotidien par les entraîneurs de football.

Matériels et Méthodes

Trois cent treize entraîneurs de football ont répondu à un questionnaire *online* portant sur trois grandes parties : les connaissances de base en termes de stratégies préventives des blessures en football ; la manière dont les entraîneurs appliquaient les stratégies préventives sur le terrain au quotidien ; la manière dont ils percevaient leur niveau de qualification en termes de prévention de blessures.

Résultats

Les résultats mettent en évidence une grande variabilité des connaissances et des modalités d'application de mesures préventives. Nous avons observé que plus le niveau de formation de l'entraîneur ou le niveau de jeu de l'équipe entraînée apparaissait élevé, plus la démarche préventive semblait structurée et complète. Près de la moitié des entraîneurs (48%) ne connaît pas les programmes *FIFA 11+* et une large majorité (77%) estime ne pas être suffisamment formée à la prévention lésionnelle. Au total, les recommandations d'applications concrètes sur le terrain de stratégies préventives à l'efficacité démontrée ne sont mises en place au quotidien que par une minorité d'entraîneurs.

Conclusion

Les mesures de prévention lésionnelle n'apparaissent pas appliquées de manière suffisante sur les terrains de football en Belgique francophone. Certaines pistes d'amélioration ont été formulées, parfois par les entraîneurs eux-mêmes.

Mots-clés

Football ; Entraîneurs ; Prévention lésionnelle ; Réalité de terrain.

1. Introduction

La pratique du football, de par des accélérations brusques, des changements de direction à haute vitesse, des sauts et des contacts directs avec un adversaire, génère un nombre important de blessures, localisées majoritairement aux membres inférieurs [1–5]. L'incidence lésionnelle peut ainsi s'élever jusqu'à 49 et 66 blessures pour 1000 heures de compétition, respectivement chez les jeunes et chez les adultes élites [6], ce qui place le football parmi les sports générant le plus de blessures. Parallèlement à une incidence lésionnelle élevée, l'influence négative de l'indisponibilité sportive d'un footballeur consécutive à une blessure sur les performances de l'équipe a été clairement mise en évidence dans plusieurs études récentes [7–9]. Pour lutter contre la survenue de blessures en football et leurs conséquences, des stratégies préventives ont été développées. À titre d'exemple, spécifiquement chez le footballeur, l'implémentation de programmes préventifs de terrain comme le programme *FIFA 11+ for injury prevention* (échauffement neuromusculaire incluant activation cardio-vasculaire, exercices de renforcement, de technique de course et d'équilibre, plyométrie) [10] permet de réduire l'incidence lésionnelle globale d'environ 39% [11] ; la réalisation régulière du *Nordic Hamstring Exercise* diminue le risque de lésion musculaire des ischio-jambiers d'environ 51% [12], tout comme l'entraînement des muscles adducteurs de hanche via le *Copenhagen Adductors* réduit le risque de lésion musculaire des adducteurs de 41% [13].

Cependant, malgré leur influence positive sur le risque lésionnel, l'adhérence aux programmes préventifs semble particulièrement faible parmi les footballeurs et leur staff [14–16], ce qui pourrait expliquer que l'incidence lésionnelle en football ne tend pas à diminuer ces dernières années [17,18]. Une réflexion approfondie sur les éléments facilitateurs et les barrières à l'implémentation sur terrain de tels programmes devrait être engagée pour comprendre la réalité vécue par les acteurs de terrain du football [19]. Un certain nombre d'intervenants pourrait ainsi jouer un rôle dans la mise en place effective de programmes préventifs : joueurs et leur entourage personnel, entraîneurs, responsables de clubs, formateurs d'entraîneurs, responsables provinciaux/régionaux/nationaux, etc. Dans ce contexte, le rôle de l'entraîneur de terrain apparaît primordial, étant donné qu'il représente, le plus souvent, la personne en charge de planifier, d'intégrer et de dispenser les programmes préventifs durant ses entraînements. Les connaissances et les perceptions du coach vis-à-vis de programmes préventifs représentent donc des éléments cruciaux en vue d'une mise en place effective de ces programmes [20–23].

L'Association des Clubs (belges) Francophones de Football (ACFF) considère la thématique de la prévention lésionnelle comme une mission essentielle de ses fonctions. Sous son impulsion et afin de contribuer à optimiser l'efficacité des stratégies préventives en Belgique francophone, la réalisation d'un état des lieux des pratiques préventives réalisées au quotidien par les entraîneurs de football s'est imposée comme une étape-clé. L'objectif de cette étude était donc d'évaluer les stratégies de prévention de blessures utilisées au quotidien par les entraîneurs de football de Belgique francophone.

2. Matériels et méthodes

2.1. Design

Cette enquête transversale a été réalisée en collaboration avec l'ACFF. Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire online distribué via l'interface www.sondageonline.com (Enuvo GmbH, Zürich, Switzerland).

2.2. Participants

Le questionnaire a été soumis à l'ensemble des entraîneurs recensés par l'ACFF. Une très large majorité d'entraîneurs exerce ce rôle en club amateur, mais des entraîneurs de clubs professionnels ont également été contactés. L'unique critère d'inclusion était de présenter, durant l'année 2018-2019, une activité régulière d'entraîneur dans un club de football affilié à l'ACFF. Aucune restriction en lien avec l'expérience ou le niveau des équipes entraînées n'était établie. Le niveau de qualification de chaque participant a été défini selon une échelle élaborée avec l'aide des responsables de la formation des entraîneurs de l'ACFF : 0 = aucune formation ; 1 = niveau basique ; 2 = niveau intermédiaire ; 3 = niveau expert.

2.3. Procédure

Les entraîneurs ont reçu une invitation personnelle par email à remplir le questionnaire online. Dans cet email, les objectifs de l'étude étaient explicités, tout comme les instructions pour remplir le questionnaire, la durée estimée pour compléter celui-ci, ainsi que la confirmation que l'ensemble des données étaient anonymisées et confidentielles. Les participants étaient informés qu'ils pouvaient, à tout moment, se retirer de l'étude. L'invitation par email contenait un lien pour accéder au questionnaire. Après l'envoi du mail initial (printemps 2019), les participants avaient 75 jours pour remplir le questionnaire ; trois rappels ont été effectués à intervalles réguliers durant cette période. À la fin de celle-ci, l'ensemble des réponses a été téléchargé du site *sondageonline* pour analyse statistique.

2.4. Questionnaire

Dans un premier temps, le questionnaire initial a été développé par deux experts en prévention lésionnelle dans le football. Il a ensuite été soumis à un panel de huit personnes regroupant pour moitié des experts en prévention lésionnelle et pour l'autre moitié des entraîneurs reconnus de football. Suite à leurs remarques et commentaires, le questionnaire a été amendé et une version finale a été approuvée par tous. Ce questionnaire final se composait de 11 questions principales, dont certaines amenaient des sous-questions. Pour la majorité des questions, des réponses à choix multiples étaient proposées aux participants. Le questionnaire était subdivisé en trois parties principales :

- 1) Le recensement des stratégies préventives mises en place concrètement sur le terrain
- 2) L'analyse de la perception, par les entraîneurs, de leur propre niveau de qualification en termes de prévention de blessures
- 3) Le recueil de données sociodémographiques telles que l'âge, le niveau d'expérience ou le niveau de jeu de l'équipe entraînée.

2.5 Analyse statistique

À la clôture du questionnaire, les données ont été exportées vers Microsoft Excel™. Pour chaque question, une analyse descriptive a été réalisée.

3. Résultats

Trois cent treize entraîneurs ont complété le questionnaire dans leur intégralité. Les caractéristiques sociodémographiques des répondants sont reprises dans le tableau 1.

Tableau 1. Données sociodémographiques des participants (n=313)

Âge (années)	39,3±10,1
Niveau de qualification : % de répondants (n)	
0 (aucune formation)	10 (31)
1 (niveau basique)	37 (116)
2 (niveau intermédiaire)	35 (110)
3 (niveau expert)	18 (56)
Années d'expérience d'entraînement	9,6±5,7
Nombre d'équipes entraînées durant la saison	1,32±0,18
Nombre d'entraînements hebdomadaires dispensés	2,4±0,7
Âge des joueurs entraînés (% répartition jeunes/adultes)	74/26
Niveau de l'équipe entraînée : % de répondants (n)	
Loisir	60 (187)
Intermédiaire	37 (116)
Élite	3 (10)

Parmi les participants, 98% estiment que l'entraîneur doit contribuer à la prévention de blessures. Une très large majorité des entraîneurs (88%) affirme mettre en place des mesures préventives durant leurs entraînements. Comme présenté dans le tableau 2, l'analyse des résultats ne démontre pas de différences fondamentales en termes de démarches préventives selon l'âge des entraîneurs ou des joueurs entraînés, les années d'expérience dans l'entraînement de football, ou encore le nombre d'équipes entraînées durant la saison. Le nombre d'entraînements hebdomadaires dispensés ne semble pas non plus influencer la mise en place de démarches préventives.

Par contre, le niveau de qualification de l'entraîneur et le niveau de jeu du club entraîné attestent de différences notables sur certains points. Comme l'illustrent les figures 1 et 2, la pratique d'étirements et plus encore la réalisation d'un échauffement structuré semblent faire l'unanimité parmi les entraîneurs, quel que soit leur niveau de qualification ou le niveau de jeu du club dans lequel ils exercent leur rôle d'entraîneur. A contrario, la réalisation d'exercices de gainage et de renforcement des principaux groupes musculaires des membres inférieurs apparaît nettement plus contrastée : les entraîneurs à niveau de qualification faible ou exerçant dans des clubs de niveau loisir ne les utilisent que très peu, à l'inverse des entraîneurs de niveau expert ou qui encadrent des clubs de niveau élite.

Tableau 2. Contenu et modalités des mesures préventives appliquées sur le terrain en fonction de l'âge des entraîneurs ou des joueurs entraînés, des années d'expérience d'entraînement, et du nombre d'équipes entraînées durant la saison

		Âge de l'entraîneur			Années d'expérience			Nombre d'équipes entraînées			Âge des joueurs	
		<30 ans (n=118)	30-45 ans (n=123)	> 45 ans (n=72)	0-6 ans (n=62)	7-12 ans (n=97)	> 12 ans (n=154)	1 (n=170)	2 (n=115)	> 2 (n=28)	< 18 ans (n=232)	≥ 18 ans (n=81)
Mesures préventives appliquées (%)	Gainages	48	55	46	45	51	44	50	46	41	54	44
	Renforcement adducteurs	46	38	41	41	45	40	36	47	48	41	47
	Renforcement quadriceps	53	42	44	48	38	41	39	43	49	46	48
	Renforcement ischio-jambiers	54	49	47	53	46	42	51	43	47	44	53
	Équilibre	71	64	59	64	68	61	69	57	56	75	61
	Technique course et sauts	63	68	61	64	59	70	61	61	72	71	63
	Étirements	79	69	76	82	73	80	72	83	74	78	72
	Échauffement structuré	96	94	98	97	96	98	97	97	96	99	96
Type d'approche (%)	Collective	62	57	53	59	57	54	61	57	62	55	60
	Travail par groupes	28	35	34	28	32	39	25	29	28	31	28
	Individuelle	10	8	13	13	11	7	14	14	10	14	12

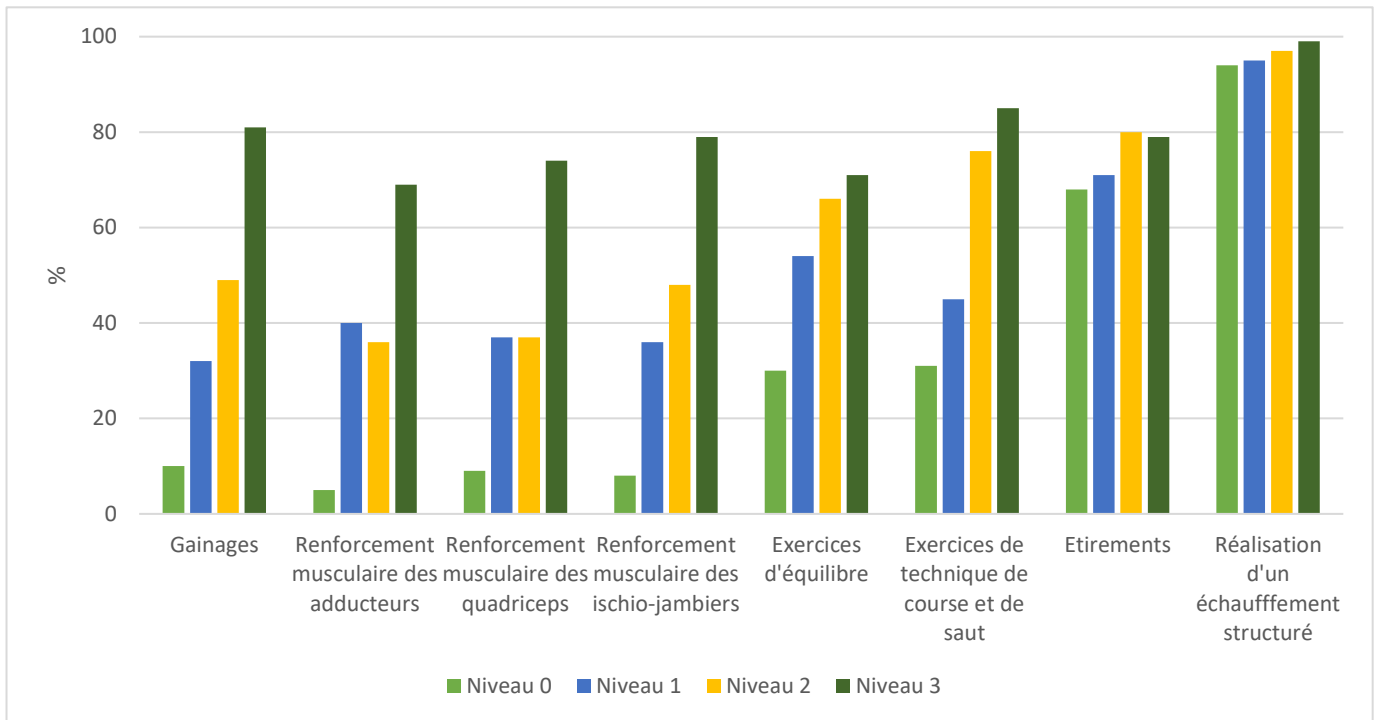


Figure 1. Réponses à la question « Quelles mesures préventives appliquez-vous sur le terrain ? » (graphique exprimé en % de réponses positives à chaque item parmi les entraîneurs déclarant appliquer des mesures préventives ; répartition en fonction de leur niveau de formation ; n=275)

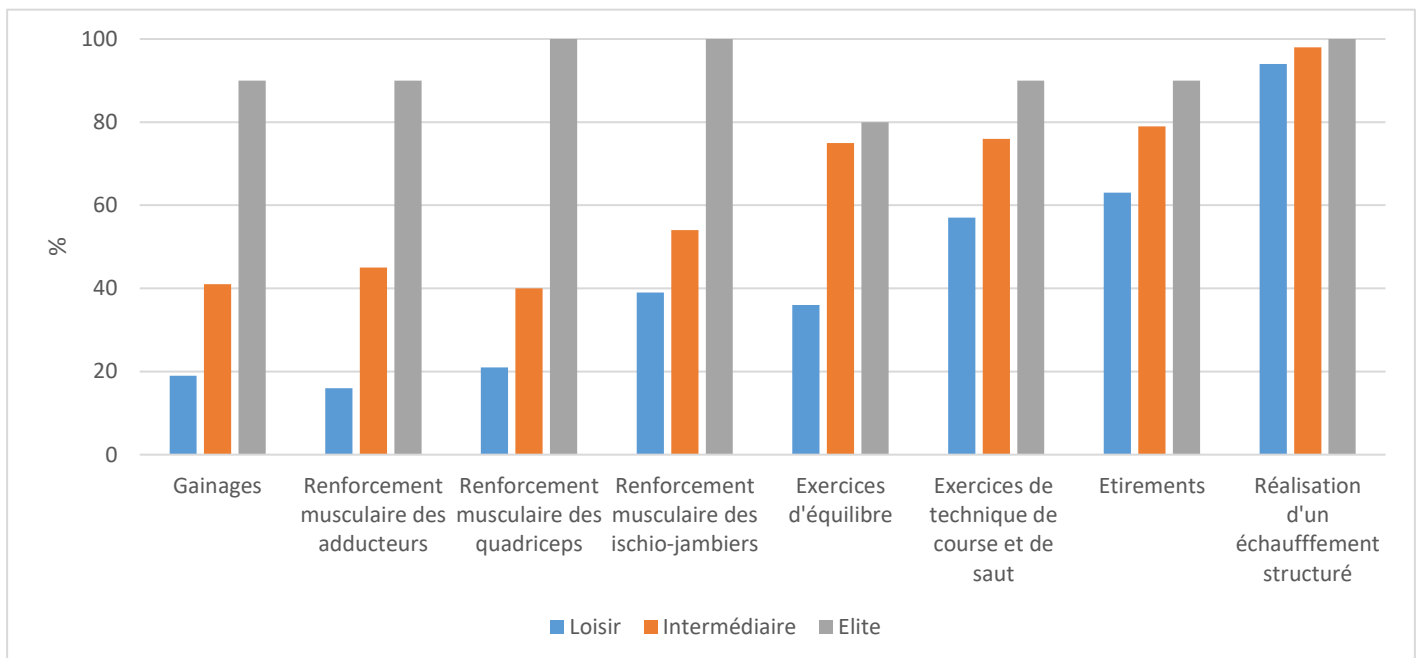


Figure 2. Réponses à la question « Quelles mesures préventives appliquez-vous sur le terrain ? » (graphique exprimé en % de réponses positives à chaque item parmi les entraîneurs déclarant appliquer des mesures préventives ; répartition en fonction du niveau de jeu de l'équipe entraînée ; n=275)

Les raisons invoquées par les 12% d'entraîneurs qui déclarent ne pas appliquer de mesures préventives sont diverses : 66% d'entre eux considèrent que, dû à un manque de connaissances sur le sujet, ils ne savent pas ce qu'ils peuvent mettre en place ; 18% déclarent manquer de matériel et/ou d'infrastructures pour faire de la prévention ; 16% pensent impossible de pouvoir agir sur la survenue de blessures quelles que soient les mesures appliquées ; 12% estiment qu'un travail préventif leur fait perdre du temps au détriment d'un travail technico-tactique.

Parmi les entraîneurs déclarant mettre en place des programmes préventifs, l'approche collective est privilégiée par une majorité des répondants, comme illustré dans les figures 3 et 4.

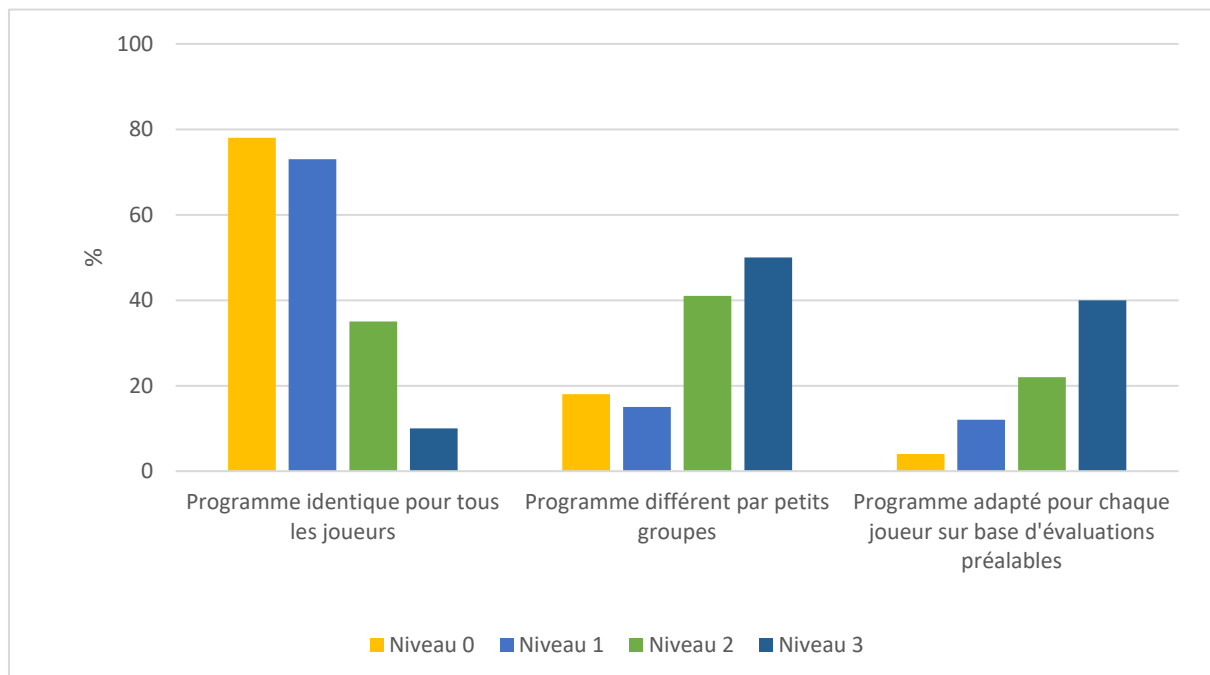


Figure 3. Réponses à la question « Appliquez-vous les mêmes exercices pour tous vos joueurs ou bien individualisez-vous les exercices par petits groupes ou individuellement ? » (question posée aux entraîneurs déclarant appliquer des mesures préventives ; répartition en fonction de leur niveau de formation ; n=275)

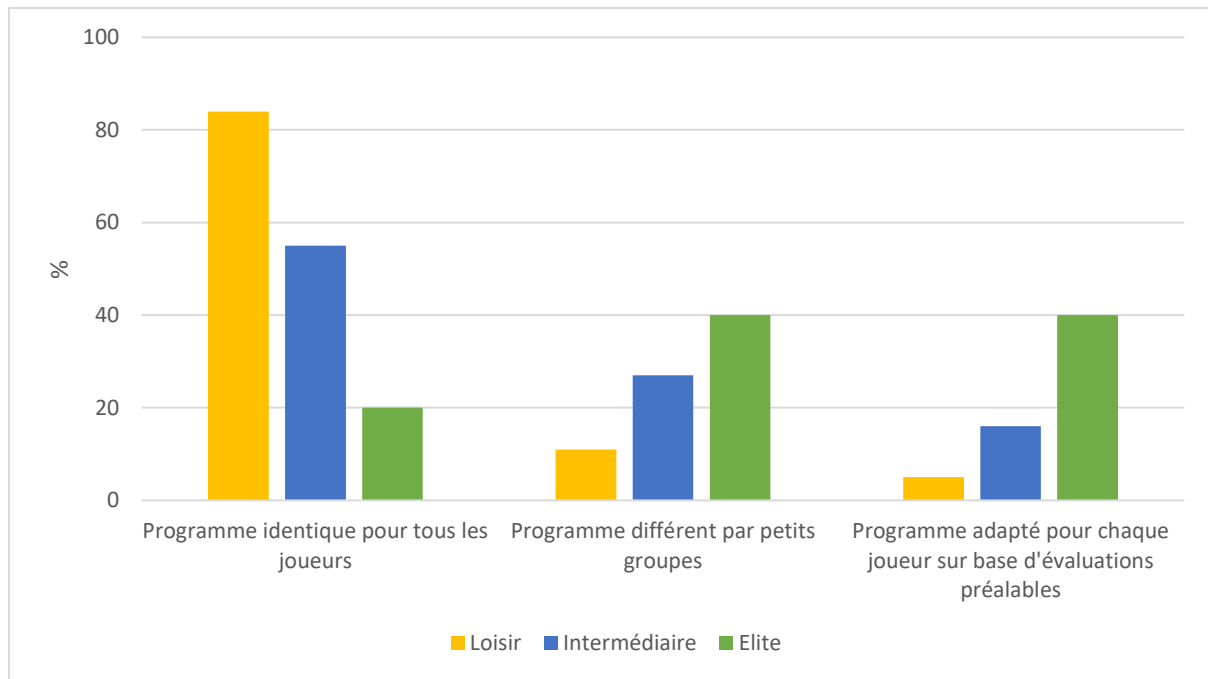


Figure 4. Réponses à la question « Appliquez-vous les mêmes exercices pour tous vos joueurs ou bien individualisez-vous les exercices par petits groupes ou individuellement ? » (question posée aux entraîneurs déclarant appliquer des mesures préventives ; répartition en fonction du niveau de jeu de l'équipe entraînée ; n=275)

Une courte majorité des entraîneurs questionnés (52%) déclare connaître un *programme FIFA for injury prevention* (11, 11+, 11+ Kids ou 11+ Shoulder), contre 48% qui ne connaissent pas au moins l'un de ceux-ci. Parmi ces derniers (n=151), le niveau de qualification semble globalement en lien avec la connaissance de tels programmes : 93% des entraîneurs à niveau de qualification « faible » (niveau 0) ne connaissent pas ces programmes. Cette proportion chute à 54% parmi les entraîneurs de niveau « basique » (niveau 1), à 33% pour le groupe de niveau « intermédiaire » (niveau 2), et 36% pour le groupe de niveau « expert » (niveau 3). Parmi les entraîneurs qui connaissent l'un de ces programmes, 73% affirment appliquer concrètement un programme *FIFA*. L'ensemble des questions relatives aux programmes *FIFA* est repris dans la figure 5.

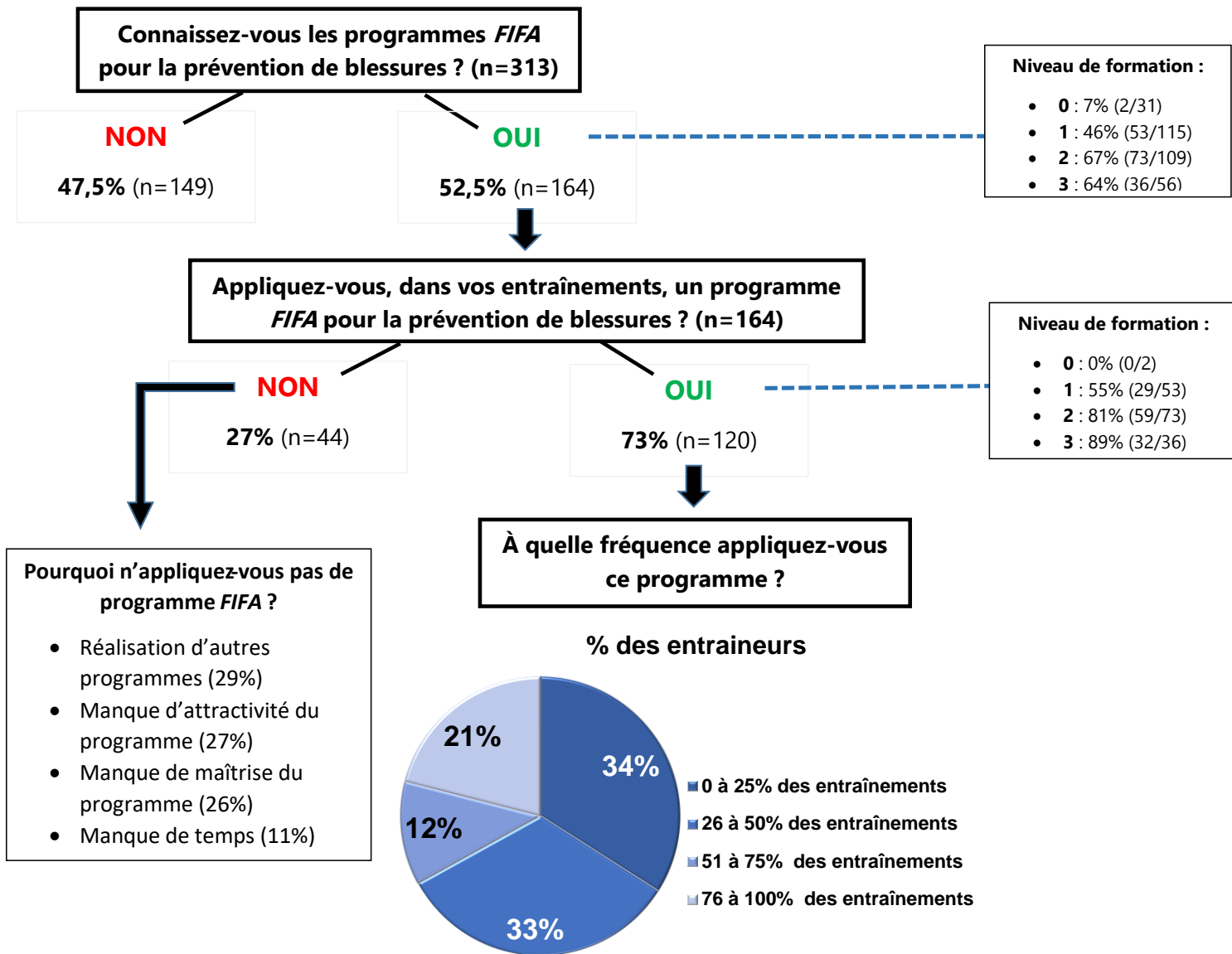


Figure 5. Réponses aux questions relatives aux programmes *FIFA*

Quatorze pour cent de l'ensemble des répondants déclarent connaître d'autres méthodes ou programmes préventifs que l'un des programmes *FIFA*. Ceux-ci utilisent des méthodes mises au point spécifiquement par certains clubs ou formateurs, ou bien sont issues de lectures et de réflexions personnelles.

Plus de 86% des sondés donnent à leurs joueurs des conseils préventifs à appliquer en dehors d'une situation d'entraînement. Ces conseils sont surtout centrés sur le respect d'une hygiène de vie correcte (94%), l'importance de travailler sa condition physique en dehors des entraînements (64%), ou encore le choix d'un équipement adéquat (43%).

Une très nette majorité d'entraîneurs (77%) estime ne pas être suffisamment formée à la prévention de blessures, contre 23% qui pensent le contraire. Les pistes évoquées par les entraîneurs en souhait de mieux se former à cette thématique sont essentiellement : proposer des formations continues sur le sujet (59%), consacrer des colloques d'entraîneurs sur le sujet (55%), approfondir ce thème lors des formations d'entraîneurs (48%).

4. Discussion

Cette étude, réalisée parmi un échantillon d'entraîneurs de football de Belgique francophone, a essentiellement mis en évidence une grande variabilité des connaissances, perceptions et modalités d'application de mesures préventives. Nous avons observé que, plus le niveau de formation de l'entraîneur ou le niveau de jeu de l'équipe entraînée apparaissait élevé, plus la démarche préventive semblait structurée et maîtrisée. Au total, les recommandations d'applications concrètes sur le terrain de programmes préventifs à l'efficacité démontrée ne sont mises en place au quotidien que par une minorité d'entraîneurs, témoignant d'une réalité de terrain globalement éloignée des recommandations de bonne pratique basées sur l'évidence scientifique.

Plus un programme préventif est composé de multiples éléments permettant une action sur un large spectre de facteurs de risque, plus ce programme préventif devrait présenter une efficacité optimale [24]. Ainsi, la combinaison d'exercices de renforcement musculaire des membres inférieurs et du tronc, d'exercices d'équilibre, de travail de gestuelle de course et de saut ainsi que de mobilité représente l'ossature principale d'un programme préventif en football basé sur les connaissances scientifiques les plus récentes [11,25]. Dans cette étude, nous avons observé que les entraîneurs avec un niveau faible de qualification ou entraînant une équipe de niveau loisir n'intégraient que très peu d'éléments préventifs dans leurs sessions d'entraînement. Si la réalisation d'un échauffement semble bien ancrée dans les mœurs, ces entraîneurs n'introduisent que très peu les éléments préventifs les plus efficaces (renforcement, équilibre, gestuelle sportive) [12,13,26]. À l'opposé, les entraîneurs hautement qualifiés ou responsables d'équipes de haut niveau prenaient en compte un panel plus large d'éléments préventifs, ce qui confère à leur programme préventif une pertinence supérieure. Il nous semble important de rappeler que les données épidémiologiques dans le milieu du football montrent que les blessures touchent autant les joueurs amateurs que professionnels [1,6,27–30], ce qui donne à la prévention un rôle indispensable quel que soit le niveau de jeu pratiqué. Au regard de ces résultats, nous préconisons donc d'introduire plus tôt, dans le processus de formation des coaches, la thématique de la prévention lésionnelle. Celle-ci devrait idéalement proposer des stratégies préventives aisément assimilables par des entraîneurs peu qualifiés et facilement applicables parmi les clubs de loisir, telles que les programmes de type *FIFA 11+*. La nécessité d'inclure dans les stratégies préventives des éléments fondamentaux trop peu

utilisés au quotidien comme le renforcement musculaire des ischio-jambiers ou des adducteurs, qui présentent une efficacité préventive démontrée [12,13,29,31], devrait également être renforcée.

Classiquement, un programme préventif peut être dispensé de manière collective (tous les sportifs réalisent les mêmes exercices indépendamment de leurs besoins (« one size fits all ») ou individuelle (travail individualisé sur base de *screening tests* permettant d'identifier forces et faiblesses de chaque sportif). Une tendance très claire s'est dégagée de cette étude : l'approche collective représente la norme parmi les clubs de niveau loisir ou ceux entraînés par des coaches à faible niveau de qualification ; l'approche individuelle est plutôt préconisée dans le haut niveau ou parmi les entraîneurs plus hautement qualifiés. Ce constat n'apparaît pas surprenant dans la mesure où l'approche individuelle nécessite une batterie de *screening tests* destinée à déterminer le profil de risque de chaque sportif. Outre l'aspect chronophage de telles évaluations, celles-ci nécessitent une participation financière non négligeable, ainsi que des besoins logistiques et humains potentiellement conséquents ; une analyse pointue des résultats d'évaluation par un *sport scientist* apparaît également indispensable. Dès lors, ce type d'approche semble particulièrement pertinente pour le haut niveau, même si celle-ci ne garantit pas une absence totale de blessures [32,33]. À un niveau de jeu plus modeste, l'approche collective, typiquement via l'implémentation de programmes comme le *FIFA 11+* [11], constitue assurément le *gold standard* des stratégies préventives de terrain à recommander. Pour rappel, l'implémentation du programme *FIFA 11+* permet de réduire l'incidence lésionnelle globale d'environ 39% comme le mentionnent les résultats d'une méta-analyse récente [11], ce qui rend cet outil particulièrement précieux dans une optique préventive.

Parmi les entraîneurs qui dispensent le programme *FIFA 11+* à leurs joueurs, nous avons observé que seuls 21% d'entre eux le dispensent selon les recommandations actuelles qui préconisent ce type d'échauffement lors de chaque entraînement. L'évidence scientifique nous pousse à encourager les entraîneurs à dispenser ce programme *FIFA 11+* lors de chaque session d'entraînement. Plusieurs études ont en effet démontré un effet préventif d'autant plus important que sa fréquence hebdomadaire est élevée [34–36]. Silvers-Granelli et al. ont par exemple démontré, sur une cohorte de presque 700 footballeurs, que le nombre total de sessions préventives durant une saison était inversement corrélé à l'incidence lésionnelle ainsi

qu'au nombre de journées d'indisponibilité liée à une blessure [37]. Une analyse en sous-groupe a permis de détailler que les équipes qui réalisaient le programme *FIFA 11+* à raison d'une fois par semaine ou moins présentaient une incidence et une sévérité lésionnelle significativement supérieure aux équipes qui réalisaient ce programme une à deux fois par semaine ; ces équipes réalisant le programme une à deux fois par semaine présentaient également des taux de blessures et de sévérité supérieurs aux équipes dont la fréquence de réalisation du programme dépassait deux sessions hebdomadaires [37]. De manière spécifique au genou ligamentaire, il a été observé que le risque de rupture du LCA ou de toute autre pathologie traumatique du genou chez des adolescentes joueuses de football était considérablement réduit si la compliance à un programme préventif s'avérait élevée à un programme préventif [38]. À l'opposé, une faible compliance à ce programme n'a pas permis de réduire le risque de lésion traumatique du genou comparativement à un groupe contrôle [38]. La compliance à un programme préventif peut être affectée négativement par plusieurs facteurs, dont un manque d'attractivité du programme en question (raison invoquée par un quart des entraîneurs qui connaissent le programme *FIFA 11+* mais qui ne l'appliquent pas). Il serait probablement judicieux d'approfondir cette notion d'attractivité à un programme préventif en intégrant des éléments à caractère ludique (par exemple avec ballon de football), en particulier chez les jeunes footballeurs.

On ne peut que se réjouir du souhait d'une fédération de football de chercher à perfectionner la formation de ses entraîneurs à la thématique de la prévention lésionnelle. La mise sur pied de cette étude constitue d'ailleurs une démarche proactive et transparente tendant vers cet objectif. Nous avons constaté les éléments suivants : d'une part plus des trois-quarts des entraîneurs sondés estiment ne pas être suffisamment formé à cette thématique ; d'autre part la plupart des 38 entraîneurs (12% du total) qui ont déclaré ne pas appliquer de mesures préventives avouent ne pas savoir ce qu'il y a lieu de faire concrètement sur le terrain. Parmi les pistes de perfectionnement évoquées par les entraîneurs (formations, conférences, etc.), nous suggérons à la fédération de considérer la prévention lésionnelle 1) comme un sujet de formation à aborder dès la formation initiale des coaches et à développer à chaque étape de cette formation ; 2) comme un élément central de la formation, au même titre que les aspects techniques, tactiques, physiques ou mentaux relatifs au football. L'intégration du programme *FIFA 11+* dès le début de la formation, soutenue par une explication de l'intérêt concret de

telles mesures (en matière de réduction de blessures et de conséquences sportives notamment) représente également un élément particulièrement intéressant et facile à mettre en place dans tout club.

Les résultats de cette étude doivent être analysés en connaissance de certaines limitations. Premièrement, certains entraîneurs de clubs ne sont pas recensés par l'ACFF et n'ont donc pas pu être contactés pour cette enquête, ce qui peut induire un biais de sélection dont la portée nous est inconnue. Deuxièmement, nous ne connaissons pas précisément le nombre d'entraîneurs contactés, et en conséquence nous ne pouvons définir avec exactitude la proportion de ceux qui ont rempli le questionnaire. Il est possible que les entraîneurs contactés et qui ont répondu au questionnaire soient les entraîneurs les plus intéressés et/ou les plus compétents en matière de prévention lésionnelle : un éventuel biais de sélection de ce type ne peut être écarté. Dès lors, les résultats principaux de cette recherche en termes des connaissances, perceptions et modalités d'application de stratégies préventives pourraient avoir été surestimés. Enfin, bien que le nombre d'entraîneurs qui ont répondu au questionnaire soit conséquente, la proportion de ceux-ci qui entraînent au niveau élite (3%) apparaît peu élevée. Les résultats peuvent donc essentiellement être considérés comme un état des lieux des stratégies préventives des entraîneurs de football à un niveau amateur.

5. Conclusion

Cette étude, dont les objectifs étaient d'investiguer les connaissances, perceptions et modalités d'application de stratégies préventives des entraîneurs de football de Belgique francophone, a principalement permis deux grands constats : 1) Comparativement aux autres entraîneurs, les entraîneurs avec un niveau de formation expert ou qui entraînent une équipe de haut niveau utilisent plus de leviers préventifs, privilégient les approches de travail préventif individuel sur base d'évaluations préalables ou par petits groupes ; 2) Seule la moitié des entraîneurs connaissent le programme *FIFA 11+ for injury prevention* et, parmi ceux-ci, 15% l'appliquent selon les recommandations de la FIFA qui préconise son utilisation lors de chaque session d'entraînement. Les mesures de prévention lésionnelle n'apparaissent donc pas appliquées de manière suffisante sur les terrains de football belges. Des pistes d'amélioration des compétences des entraîneurs en matière de prévention ont été proposées par les entraîneurs eux-mêmes, ce qui à nos yeux apparaît très encourageant et devrait permettre d'agir concrètement en ce sens.

Références

1. Kerr ZY, Putukian M, Chang CJ, DiStefano LJ, Currie DW, Pierpoint LA, et al. The first decade of web-based sports injury surveillance: descriptive epidemiology of injuries in US high school boys' soccer (2005-2006 through 2013-2014) and National Collegiate Athletic Association men's soccer (2004-2005 through 2013-2014). *J Athl Train*. 2018 Sep;53(9):893–905.
2. Krutsch W, Zeman F, Zellner J, Pfeifer C, Nerlich M, Angele P. Increase in ACL and PCL injuries after implementation of a new professional football league. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Jul;24(7):2271–9.
3. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*. 2006 Jul;24(7):665–74.
4. Loose O, Achenbach L, Fellner B, Lehmann J, Jansen P, Nerlich M, et al. Injury prevention and return to play strategies in elite football: no consent between players and team coaches. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018 Jul;138(7):985–92.
5. Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med*. 2011 Jun;45(7):553–8.
6. Pfirrmann D, Herbst M, Ingelfinger P, Simon P, Tug S. Analysis of injury incidences in male professional adult and elite youth soccer players: a systematic review. *J Athl Train*. 2016 May;51(5):410–24.
7. Carling C, Le Gall F, McCall A, Nedelec M, Dupont G. Squad management, injury and match performance in a professional soccer team over a championship-winning season. *Eur J Sport Sci*. 2015;15(7):573–82.
8. Hagglund M, Walden M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J. Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med*. 2013 Aug;47(12):738–42.
9. Eirale C, Tol JL, Farooq A, Smiley F, Chalabi H. Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. *Br J Sports Med*. 2013 Aug;47(12):807–8.
10. Bizzini M, Junge A, Dvorak J. Implementation of the FIFA 11+ football warm up program: how to approach and convince the Football associations to invest in prevention. *Br J Sports Med*. 2013 Aug;47(12):803–6.
11. Thorborg K, Krommes KK, Esteve E, Clausen MB, Bartels EM, Rathleff MS. Effect of specific exercise-based football injury prevention programmes on the overall injury rate in football: a systematic review and meta-analysis of the FIFA 11 and 11+ programmes. *Br J Sports Med*. 2017 Apr;51(7):562–71.
12. Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of injury prevention programs that include the nordic hamstring exercise on hamstring injury rates in soccer players: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2017 May;47(5):907–16.
13. Haroy J, Clarsen B, Wiger EG, Oyen MG, Serner A, Thorborg K, et al. The Adductor Strengthening Programme prevents groin problems among male football players: a cluster-randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. 2019 Feb;53(3):150–7.
14. van der Horst N, Hoef S van de, Otterloo P van, Klein M, Brink M, Backx F. Effective but not adhered to: how can we improve adherence to evidence-based hamstring injury prevention in amateur football? *Clin J Sport Med*. 2021 Jan;31(1):42–8.
15. Bahr R, Thorborg K, Ekstrand J. Evidence-based hamstring injury prevention is not adopted by the majority of Champions League or Norwegian Premier League football teams: the Nordic Hamstring survey. *Br J Sports Med*. 2015 Nov;49(22):1466–71.
16. Frank BS, Register-Mihalik J, Padua DA. High levels of coach intent to integrate a ACL injury prevention program into training does not translate to effective implementation. *J Sci Med Sport*. 2015 Jul;18(4):400–6.

17. Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med.* 2016 Jun;50(12):731–7.
18. Waldén M. Reflecting on the data patterns of 15 years: a future prediction for 2032. In: Abstract book of the XXVI International Conference on Sports Rehabilitation and Traumatology - The Future of Football Medicine. Calzetti Mariucci Editori; 2017. p. 21.
19. Finch CF, Donaldson A. A sports setting matrix for understanding the implementation context for community sport. *Br J Sports Med.* 2010 Oct;44(13):973–8.
20. O'Brien J, Finch CF. Injury prevention exercise programmes in professional youth soccer: understanding the perceptions of programme deliverers. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2016;2(1):e000075.
21. Ageberg E, Bunke S, Lucander K, Nilsen P, Donaldson A. Facilitators to support the implementation of injury prevention training in youth handball: a concept mapping approach. *Scand J Med Sci Sports.* 2019 Feb;29(2):275–85.
22. Lindblom H, Carlford S, Hägglund M. Adoption and use of an injury prevention exercise program in female football: a qualitative study among coaches. *Scand J Med Sci Sports.* 2018 Mar;28(3):1295–303.
23. Wilke J, Niederer D, Vogt L, Banzer W. Head coaches' attitudes towards injury prevention and use of related methods in professional basketball: a survey. *Phys Ther Sport.* 2018 Jul;32:133–9.
24. Bittencourt NFN, Meeuwisse WH, Mendonca LD, Nettel-Aguirre A, Ocarino JM, Fonseca ST. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition-narrative review and new concept. *Br J Sports Med.* 2016 Nov;50(21):1309–14.
25. Gomes Neto M, Conceição CS, de Lima Brasileiro AJA, de Sousa CS, Carvalho VO, de Jesus FLA. Effects of the FIFA 11 training program on injury prevention and performance in football players: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2017 May;31(5):651–9.
26. Brunner R, Friesenbichler B, Casartelli NC, Bizzini M, Maffiuletti NA, Niedermann K. Effectiveness of multicomponent lower extremity injury prevention programmes in team-sport athletes: an umbrella review. *Br J Sports Med.* 2019 Mar;53(5):282–8.
27. Stubbe JH, van Beijsterveldt A-MMC, van der Knaap S, Stege J, Verhagen EA, van Mechelen W, et al. Injuries in professional male soccer players in the Netherlands: a prospective cohort study. *J Athl Train.* 2015 Feb;50(2):211–6.
28. Jones A, Jones G, Greig N, Bower P, Brown J, Hind K, et al. Epidemiology of injury in English professional football players: A cohort study. *Phys Ther Sport.* 2019 Jan;35:18–22.
29. van der Horst N, Smits D-W, Petersen J, Goedhart EA, Backx FJG. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2015 Jun;43(6):1316–23.
30. DiStefano LJ, Dann CL, Chang CJ, Putukian M, Pierpoint LA, Currie DW, et al. The first decade of web-based sports injury surveillance: descriptive epidemiology of injuries in us high school girls' soccer (2005-2006 through 2013-2014) and National Collegiate Athletic Association women's soccer (2004-2005 through 2013-2014). *J Athl Train.* 2018 Sep;53(9):880–92.
31. van Dyk N, Behan FP, Whiteley R. Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. *Br J Sports Med.* 2019 Nov;53(21):1362–70.
32. van Dyk N, Clarsen B. Prevention forecast: cloudy with a chance of injury. *Br J Sports Med.* 2017 Dec;51(23):1646–7.
33. Bahr R. Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will...: a critical review. *Br J Sports Med.* 2016 Jul;50(13):776–80.
34. Owuoye OBA, Akinbo SRA, Tella BA, Olawale OA. Efficacy of the FIFA 11+ Warm-up programme in male youth football: a cluster randomised controlled trial. *J Sports Sci Med.* 2014 May;13(2):321–8.

35. Soligard T, Nilstad A, Steffen K, Myklebust G, Holme I, Dvorak J, et al. Compliance with a comprehensive warm-up programme to prevent injuries in youth football. *Br J Sports Med*. 2010 Sep;44(11):787–93.
36. Steffen K, Emery CA, Romiti M, Kang J, Bizzini M, Dvorak J, et al. High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: a cluster randomised trial. *Br J Sports Med*. 2013 Aug;47(12):794–802.
37. Silvers-Granelli HJ, Bizzini M, Arundale A, Mandelbaum BR, Snyder-Mackler L. Higher compliance to a neuromuscular injury prevention program improves overall injury rate in male football players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018 Jul;26(7):1975-83.
38. Hagglund M, Atroshi I, Wagner P, Walden M. Superior compliance with a neuromuscular training programme is associated with fewer ACL injuries and fewer acute knee injuries in female adolescent football players: secondary analysis of an RCT. *Br J Sports Med*. 2013 Oct;47(15):974–9.

Chapitre II

Contribution au développement de stratégies de prévention et d'optimisation du retour au sport après blessure

Étude 4

Influence d'un programme de terrain de renforcement des ischio-jambiers sur la force et la souplesse musculaires

Étude 5

Facteurs prédictifs d'un retour à la performance après plastie du ligament croisé antérieur

Étude 4

Influence d'un programme de terrain de renforcement des ischio-jambiers sur la force et la souplesse musculaires

François Delvaux¹, Cédric Schwartz^{1,2}, Thibault Decréquy¹, Thibault Devalckeneer¹, Julien Paulus², Stephen Bornheim¹, Jean-François Kaux¹, Jean-Louis Croisier^{1,2}

¹ *Département des Sciences de la Motricité, Université de Liège, Liège, Belgique*

² *Laboratoire d'Analyse du Mouvement Humain, Université de Liège, Liège, Belgique*

International Journal of Sports Medicine 2020 Apr;41(4):233-241.

"Influence of a field hamstring eccentric training on muscle strength and flexibility"

Résumé

Objectifs

Examiner l'influence d'un programme de terrain de renforcement excentrique des ischio-jambiers (IJ) sur la souplesse et la force de ces muscles.

Matériels et Méthodes

Vingt-sept sportifs amateurs ont été répartis de manière aléatoire en un groupe intervention (GI ; n=13) et un groupe contrôle (GC, n=14). Dans le GI, les participants ont réalisé, durant 6 semaines, 15 sessions d'entraînement composé de 4 exercices progressifs de renforcement des IJ (*nordic hamstring exercise, single-leg Roman deadlift, slide leg exercise et Askling's glider*). Une évaluation isocinétique (moment de force maximale (MFM), ratios IJ/Quadriceps) et une évaluation de la souplesse passive et active (amplitude maximale de flexion de hanche avec genou en extension) a été réalisée avant et après la phase d'intervention.

Résultats

Après 6 semaines, aucune modification significative de force ou de souplesse n'a été observée parmi le GC ($p > 0.05$). Les MFM des IJ en mode excentrique (+7.1% en valeurs absolues et +8.0% en valeurs normalisées par rapport au poids corporel) et le ratio mixte (+9.3%) ont significativement augmenté dans le GI ($p < 0.05$) mais pas les MFM en mode concentrique des IJ ($p > 0.05$). La souplesse passive a significativement augmenté de 11.4° (+12.7% ; $p < 0.001$), mais pas la souplesse active (+3.1% ; $p > 0.05$).

Conclusion

Un programme d'entraînement de 6 semaines, incluant 4 exercices de renforcement des IJ sans matériel spécifique, représente une méthode efficace pour améliorer la force musculaire excentrique, le ratio mixte et surtout la souplesse passive des IJ. Ce programme pouvant être facilement implémenté dans un contexte réel d'entraînement, il peut s'avérer pertinent dans le cadre d'une stratégie de prévention lésionnelle parmi les populations à risque.

Mots clés

Ischio-jambiers ; Renforcement musculaire ; Souplesse ; H-test.

1. Introduction

La lésion musculaire des ischio-jambiers (LIJ) représente la blessure musculaire la plus fréquente parmi les sports impliquant des actions à haute vitesse de course [1,2]. Les études épidémiologiques rapportent des taux de blessures élevés chez les athlètes professionnels mais également chez les athlètes amateurs [3] : à titre d'exemple, un joueur de football amateur présente une incidence de LIJ comprise entre 20.4 et 36.9 blessures par 1000 heures de match et entre 2.3 et 3.9 heures d'entraînement [4]. Plusieurs facteurs de risque ont été évoqués (faiblesse ou déséquilibre musculaire, faible souplesse, premier épisode lésionnel, âge, architecture musculaire [5-9]), mais leur contribution respective à la survenue de la blessure demeure trouble.

Un nombre important d'études a établi que le renforcement excentrique des IJ pouvait réduire le risque de blessure musculaire de ces muscles [10]. Entraîner les IJ en mode excentrique génère des adaptations neuromusculaires telles qu'une amélioration de la longueur des fascicules de la longue portion du biceps fémoral [11,12], une augmentation de la force et du volume [11,13-15], ou encore une amélioration de l'aptitude des IJ à produire un niveau de force supérieur à des longueurs musculaires plus grandes [13]. Il est également bien documenté que l'entraînement en mode excentrique représente un moyen efficace d'améliorer la souplesse du muscle ou du groupe musculaire travaillé [16]. Cependant, dans les études ayant établi un lien entre gain de souplesse et entraînement excentrique, la souplesse n'était évaluée qu'en mode passif. Dès lors, l'influence d'un programme excentrique sur la souplesse active reste inconnue, alors que la grande majorité des blessures aux IJ survient à la fois lors de courses à très haute vélocité mais également à un degré d'allongement musculaire important des IJ [2].

Selon une récente méta-analyse, l'évidence scientifique relative à l'efficacité du *Nordic Hamstring Exercise* (NHE) sur le risque lésionnel apparaît élevée, les auteurs concluant à une réduction de blessures pouvant atteindre 51% comparativement à l'absence d'entraînement de cet exercice [17]. Bien que le NHE représente un outil préventif efficace, ce dernier ne peut être considéré comme l'unique exercice à utiliser en prévention lésionnelle [18]. En effet, le NHE implique une action prédominante au niveau du genou et n'est pas spécifique à la fin de la phase oscillante du sprint [2,18] qui représente pourtant la partie la plus délicate par rapport

au risque de lésion instantanée des IJ [19]. Ainsi, les programmes préventifs de lésions des IJ pourraient probablement être plus efficaces si la réalisation régulière du NHE était associée à d'autres exercices d'IJ présentant des caractéristiques spécifiques différentes en termes de degré d'allongement musculaire, de dominance de hanche ou de genou, de vitesse de mouvement, d'intensité de contraction, de chaîne cinétique ouverte ou fermée, ou encore de modalité uni- ou bilatérale [2,20]. Des exercices de terrain tels que le *single-leg roman deadlift*, le *slide leg exercise*, le *Askling's glider* ou encore le *fitball flexion* sont largement utilisés en pratique quotidienne mais l'évidence scientifique demeure inconnue quant à leur impact sur la force et la souplesse musculaires, tout comme sur le risque lésionnel.

L'objectif de cette étude était d'analyser l'influence d'un programme d'exercices de terrain de renforcement excentrique des IJ sur la force, la souplesse passive mais également active de ces muscles.

2. Matériels et méthodes

2.1 Design et participants

Cette étude est un essai randomisé contrôlé (ERC) et a suivi les recommandations du *Consolidated Standards of Reporting Trials* (CONSORT) pour les essais cliniques [21]. La méthodologie de randomisation a été réalisée par un investigateur indépendant à l'aide d'un outil de randomisation online (<http://www.randomizer.org>). Le processus de randomisation ainsi que l'ensemble des évaluations ont été effectués par différents évaluateurs en simple aveugle. Ces évaluateurs n'étaient pas impliqués dans la mise en place ou le suivi du programme de terrain ou encore l'analyse des données.

La taille de l'échantillon a été calculée à l'aide du G*Power Software (Universität Düsseldorf, Allemagne). Un total de 15 sujets dans chaque groupe a ainsi été déterminé (taille de l'effet = 0.30 ; niveau de signification = 0.05 ; puissance = 0.80). Les sujets devaient être de sexe masculin âgés entre 18 et 30 ans et pratiquer une activité sportive à un niveau non élite. Les critères d'exclusion étaient les suivants : avoir subi un ou plusieurs épisodes de lésion musculaire des IJ ou une chirurgie de genou, être ou avoir été atteint de lombalgie chronique. Les participants ont été répartis en ordre aléatoire entre le groupe intervention (GI) ou le groupe contrôle (GC).

L'étude, qui rencontre les standards de la revue en termes d'éthique [22], a été approuvée par le comité d'éthique local (B707201526715) et les participants ont tous rempli le formulaire de consentement.

2.2 Procédure expérimentale

2.2.1 Programme excentrique

Les participants du GI devaient réaliser 15 sessions d'entraînement sur une période de 6 semaines et répartis selon un schéma progressif (tableau 1). Deux sessions consécutives étaient séparées au minimum de 48 heures et chaque session était supervisée par deux kinésithérapeutes. Dans l'optique d'obtenir un taux de participation aux sessions d'entraînement de minimum 90%, chaque participant ne pouvait pas manquer plus d'une session.

Tableau 1. Protocole d'exercices excentriques du groupe intervention

Semaine	Fréquence hebdomadaire d'entraînement	Nombre d'exercices par session	Nombre de séries par exercice	Nombre de répétitions par série
1	2	4	2	6
2	2	4	2	8
3	2	4	2	10
4	3	4	3	10
5	3	4	3	10
6	3	4	3	10

Durant chacun des entraînements, 4 exercices devaient être réalisés, tous sans l'utilisation de poids additionnels ou d'équipement spécifique (à l'exception d'un linge permettant un glissement d'un pied sur le sol) : NHE, single-leg Roman deadlift (SLRD), slide leg exercise (SLE), Askling's glider (AG) (figure 1).

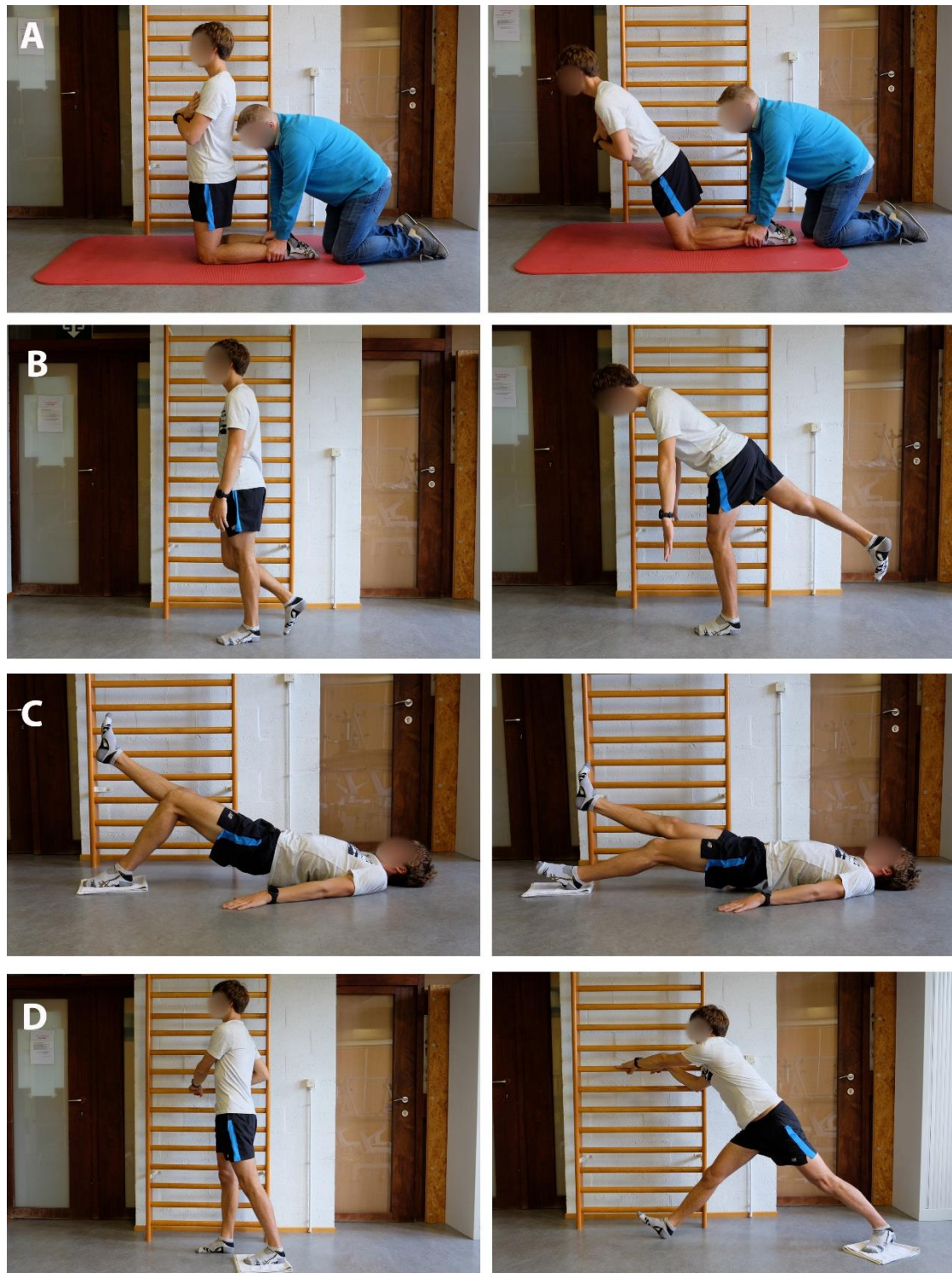


Figure 1. Exercices excentriques pour ischio-jambiers. Position de départ (colonne de gauche) et de fin (colonne de droite) de mouvement : A) Nordic hamstring exercise ; B) Single-leg Roman deadlift; C) Slide leg exercise; D) Askling's glider

Ces exercices ont été sélectionnés pour deux raisons principales : 1) une facilité d'implémentation quel que soit l'endroit ; 2) un équilibre entre, d'une part, une action dominante de la hanche et un degré élevé d'allongement musculaire des IJ (SLRD et AG), et d'autre part une action dominante du genou ainsi qu'un degré modéré d'allongement musculaire (NHE et SLE). Préalablement à ces exercices, un échauffement standardisé était réalisé dans l'ordre suivant : 6 minutes de vélo (75-100 W), 3 séries de 15 demi-squats avec poids du corps entrecoupées d'un repos de 30 secondes, et 3 séries de 20 mouvements de stepping rapides entrecoupées également d'un repos de 30 secondes. Pour le NHE, les sujets démarraient en position sur les genoux fléchis à 90°, hanches en extension et à l'aplomb des genoux. Un partenaire s'assurait que, tout au long de l'exercice, les pieds du participant restaient en permanence au contact du sol grâce à l'application d'une pression sur les talons du participant. Ce dernier devait, en conservant les hanches en extension, se pencher vers l'avant aussi lentement que possible pour maximiser la charge durant l'effort excentrique. Les membres supérieurs étaient utilisés pour amortir la chute du corps vers l'avant et pour se repousser une fois que le tronc avait touché le sol [23]. L'exercice SLRD est réalisé en position debout sur un pied, le genou du côté d'appui légèrement fléchi (10-20°). Le sujet devait maintenir une rectitude de l'ensemble du rachis et fléchir lentement la hanche du côté de l'appui jusqu'à amplitude maximale. La hanche et le genou du côté oscillant devaient rester en extension tout le long du mouvement et le pied devait donc s'élever au fur et à mesure que le sujet se penchait vers l'avant [20]. L'exercice SLE requérait une position de départ en décubitus dorsal, bras le long du corps, genoux fléchis, et le talon d'un des membres inférieurs reposant sur un linge permettant de glisser aisément sur le sol. Il était demandé au participant, après avoir soulevé le bassin du sol (position de pont fessier sur une jambe) de laisser glisser ce talon lentement et de manière contrôlée vers l'extension de genou. Une fois que le genou était en extension complète, le genou était ramené en position de flexion avec le bassin au sol sans effort particulier. L'autre membre inférieur était décollé du sol durant l'ensemble du mouvement [20]. Pour le dernier exercice, AG, le départ du mouvement s'effectuait en position debout, mains accrochées à un espalier placé de côté. Un mouvement de glissade postérieure du pied se trouvant sur un linge permettant de glisser aisément sur le sol était alors réalisé jusqu'à amplitude maximale. La phase de retour vers la position de départ s'effectuait à l'aide des deux mains [24]. L'ordre des exercices était modifié à chaque session d'entraînement, et les deux membres inférieurs étaient renforcés. Dans l'optique de maximiser la phase

excentrique, il était demandé à chaque participant de réaliser chaque exercice à intensité maximale. Les intervalles de repos entre les différentes séries d'exercices duraient 2 minutes.

2.2.2 Évaluations

Afin d'éviter des interférences d'une éventuelle fatigue ou de courbatures sur les mesures de force et de souplesse, chaque participant était invité à ne pas s'engager dans des activités sportives intenses moins de 48 heures avant les tests. Dans le GI, l'intervalle minimal entre la dernière session d'entraînement et les évaluations était de 72 heures.

Une élévation jambe tendue (EJT) passive, constituait la première partie des mesures de souplesse. Les sujets étaient positionnés en décubitus dorsal, avec une orthèse d'extension de genou sur le côté dominant. Deux sangles permettaient d'éviter les compensations de la jambe controlatérale et du tronc. Préalablement à cette épreuve, le côté dominant était déterminé à l'aide de la question suivante : « Si vous deviez shooter un ballon dans une cible, quelle jambe utiliseriez-vous ? » [25]. Le pied de la jambe testée devait rester en position neutre durant l'ensemble du mouvement. Un système d'analyse optoélectronique 3D a été utilisé avec un marqueur attaché au condyle fémoral latéral et un autre marqueur sur la base de la malléole externe. Les positions de ces marqueurs 3D ont été mesurées à l'aide de quatre caméras Codamotion CX1® (Charnwood Dynamics, Rothley, Angleterre) à une fréquence d'échantillonnage de 200Hz. Les positions 3D des marqueurs ont été filtrées à l'aide d'un filtre passe-bas Butterworth d'ordre 4 à phase zéro avec une fréquence de coupure de 10 Hz. La jambe testée était lentement amenée vers la flexion de hanche. Le participant était invité à se détendre et à dire "stop" lorsque l'amplitude maximale était atteinte, c'est-à-dire lors d'une sensation forte mais tolérable d'étirement dans la face postérieure de la cuisse. Un essai d'accoutumance suivi de trois essais enregistrés étaient réalisés, entrecoupés d'intervalles de repos de 15 secondes. La seconde partie des mesures de souplesse était constituée du test actif, une version adaptée du *Hamstring-test* (H-test) [26]. Ce test, développé par Carl Askling et al. [26], avait pour objectif initial de compléter l'examen clinique traditionnel utilisé pour décider de la reprise sportive après LII. Dans notre étude, la procédure de ce test actif était identique à celle du test passif, mais il était demandé au participant d'effectuer l'EJT aussi rapidement que possible jusqu'à amplitude maximale sans risquer une blessure. Tout comme

pour le test passif, un essai d'accoutumance suivi de trois essais enregistrés étaient réalisés, avec des intervalles de repos de 15 secondes. Tant en modalité active que passive, l'amplitude maximale atteinte pour l'un des trois essais était retenue pour l'analyse statistique.

Une évaluation isocinétique, identique à celle décrite précédemment par Croisier et al. [27], était ensuite réalisée sur Cybex Humac Norm® (CSMI, Stoughton, MA, USA) pour évaluer les performances musculaires du quadriceps (Q) et des IJ de la jambe dominante. Un échauffement standardisé précédait l'évaluation isocinétique et consistait à pédaler sur une bicyclette ergométrique (75-100W) durant 6 minutes ; 20 secondes d'étirements statiques par groupe musculaire (IJ et Q) étaient alors réalisés. Le participant était assis sur le siège du dynamomètre (105° de flexion de hanche) avec des sangles attachées au niveau de la cuisse et du tronc pour éviter d'éventuelles compensations. L'amplitude de mouvement était fixée à 100° à partir de l'extension maximale de genou. Une familiarisation au dynamomètre était systématiquement effectuée à 120°/s : 10 répétitions sous-maximales suivies de 6 répétitions progressivement intensifiées jusqu'à la performance maximale. De plus, avant chaque épreuve, trois répétitions à la vitesse du test étaient imposées. Aucun feedback visuel n'était donné durant le test, mais le participant recevait des encouragements verbaux de la part de l'expérimentateur. Le protocole d'évaluation comprenait : 3 essais à 60°/s et 5 essais à 240°/s en mode concentrique (CON) pour les IJ et le Q. Pour clôturer le test, les IJ étaient également évalués en mode excentrique (EXC) à une vitesse angulaire de 30°/s (3 essais). Entre ces séries, un intervalle de repos d'une minute était imposé. Les paramètres analysés étaient les moments de force maximale (MFM) en N.m et en N.m/kg). Un ratio conventionnel IJ/Q était établi pour chaque vitesse angulaire, et un ratio mixte fonctionnel associant MFM en EXC à 30°/s des IJ et MFM en CON à 240°/s du Q était également calculé [27].

2.3 Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Statistica V.11.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Après avoir vérifié la normalité des données à l'aide du test de Shapiro-Wilk, les données sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-type (EC). Les variables cliniques démographiques de base ont été comparées entre les groupes à l'aide du t-test de Student pour échantillons indépendants. Le seuil de significativité a été établi à $p < 0.05$. Pour chaque variable analysée, le changement a été calculé sous forme de pourcentage par rapport au test de base. Les tailles d'effet ont été calculées selon le d de Cohen et qualifiées de faible (0.2), moyenne (0.5) ou large (0.8). La réponse à l'entraînement excentrique était déterminée selon la formule des critères d'erreur typique (ET) : $ET = EC_{diff}/\sqrt{2}$, dans laquelle EC_{diff} représente la différence des EC observés en pré- et en post-tests [28]. Un *non répondant* au programme excentrique était défini comme un individu qui n'a pas démontré d'amélioration (en faveur d'un changement bénéfique en termes de force ou de souplesse) supérieure au double de l'ET.

3. Résultats

Trente-six participants potentiels ont été recrutés et leurs critères d'éligibilité ont été analysés. Parmi cet échantillon, vingt-huit participants remplissaient ces critères et ont ainsi pu être inclus à l'étude. Comme mentionné dans le flow chart (figure 2), un participant du GI a choisi d'arrêter l'étude pour des raisons personnelles.

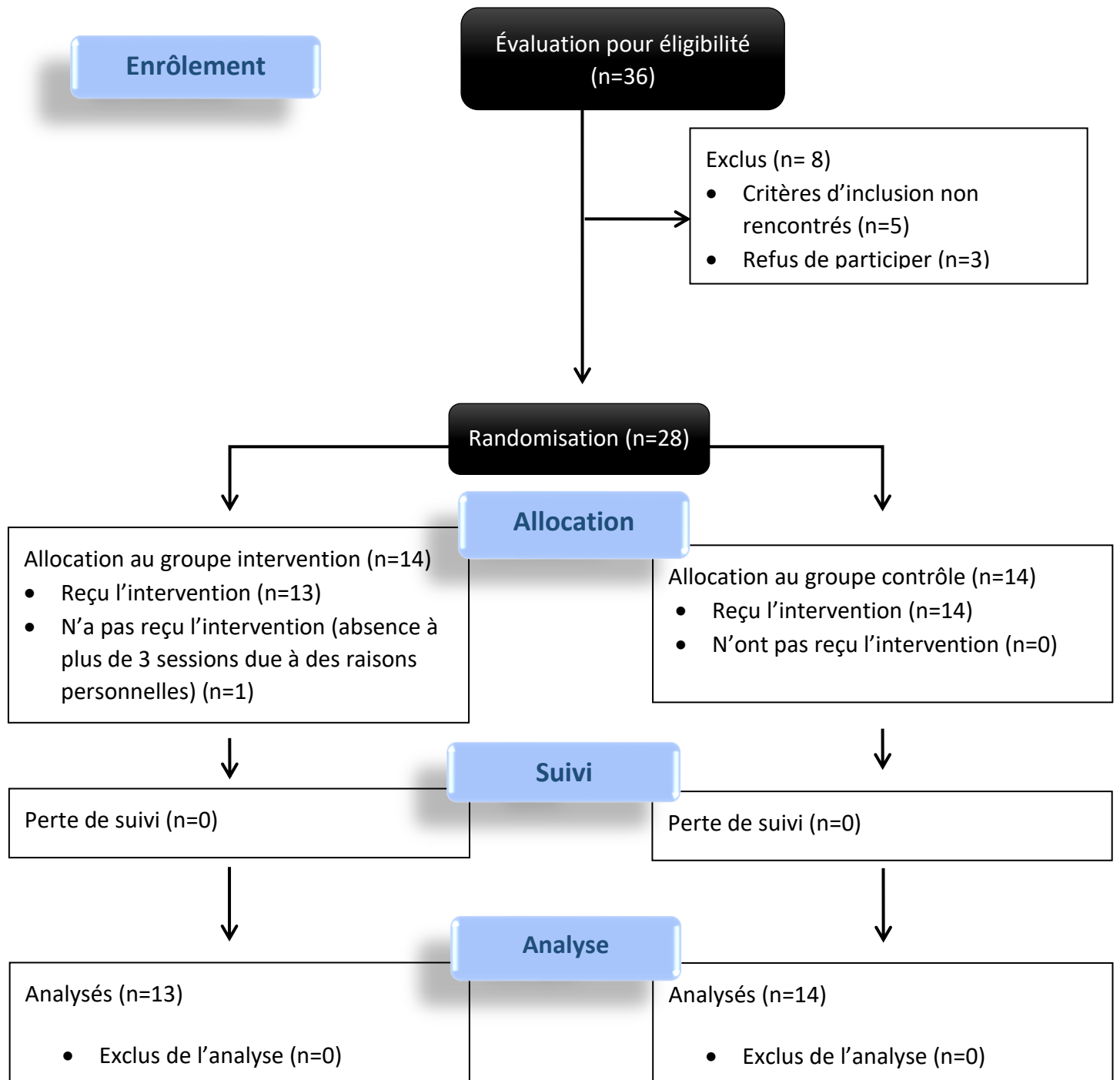


Figure 2. Flow diagram CONSORT

Les caractéristiques de base de ces participants, identiques pour l'ensemble des variables continues, sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques de base des participants

	Groupe contrôle (n=14)	Groupe intervention (n=13)	<i>p</i> valeur
Âge (années)	23,0±1,7	22,4±2,1	0,58
Taille (cm)	1,84±0,11	1,81±0,07	0,37
Masse (kg)	76,5±11,3	75,6±9,8	0,74
Volume de sport (heures par semaine)	4,2±1,9	3,9±1,4	0,32
Type de sport	Football (6) Course à pied (2) Basketball (1) Volleyball (2) Rugby (1) Baseball (1) Handball (1)	Football (5) Course à pied (3) Basketball (2) Volleyball (1) Rugby (2)	
Mobilité en flexion de hanche passive (deg)	82,2±15,8	78,2±15,5	0,47
Mobilité en flexion de hanche active (deg)	103,1±14,3	99,7±11,4	0,35
MFM des IJ en excentrique à 30°/s (N.m)	171,4±37,8	168,6±39,9	0,60
MFM des IJ en excentrique à 30°/s (N.m/kg)	2,25±0,52	2,20±0,52	0,54

Notes : Valeurs exprimées en moyenne ± écart-type. MFM, moment de force maximale ; IJ, ischio-jambiers. Le niveau de significativité est établi pour $p \leq 0,05$.

Au sein du GI, 9 participants ont complété les 15 sessions, et 4 participants ont présenté une absence chacun (14 sessions complétées) : avec un taux global de participation de 98%, la compliance au programme peut être qualifiée d'excellente. Aucun participant du GC n'a été perdu lors du suivi. Huit participants du GI ont rapporté des épisodes légers à modérés de courbatures 24 à 48 heures après la première et/ou la seconde session d'entraînement, mais le programme a pu être complété sans modification de volume, d'intensité ou de fréquence hebdomadaire.

3.1 Souplesse

Dans le GC, les amplitudes maximales lors des EJT en mode passif et en mode actif n'ont pas subi de changements significatifs entre les pré- et post-tests ($p > 0.05$). Dans le GI, l'amplitude maximale d'EJT en mode passif a significativement augmenté de 11.4° ($+12.7\%$; $p < 0.001$, taille d'effet large ($d = 0.81$)), ce qui n'a pas été observé pour le mode actif ($+3.1\%$; $p > 0.05$) (figure 3). Trois participants du GI (15% du groupe) ont été qualifiés de *non répondants* pour la souplesse passive (amélioration inférieure à 4.8°), et 6 participants (46% du groupe) pour la souplesse active (amélioration inférieure à 2.7°).

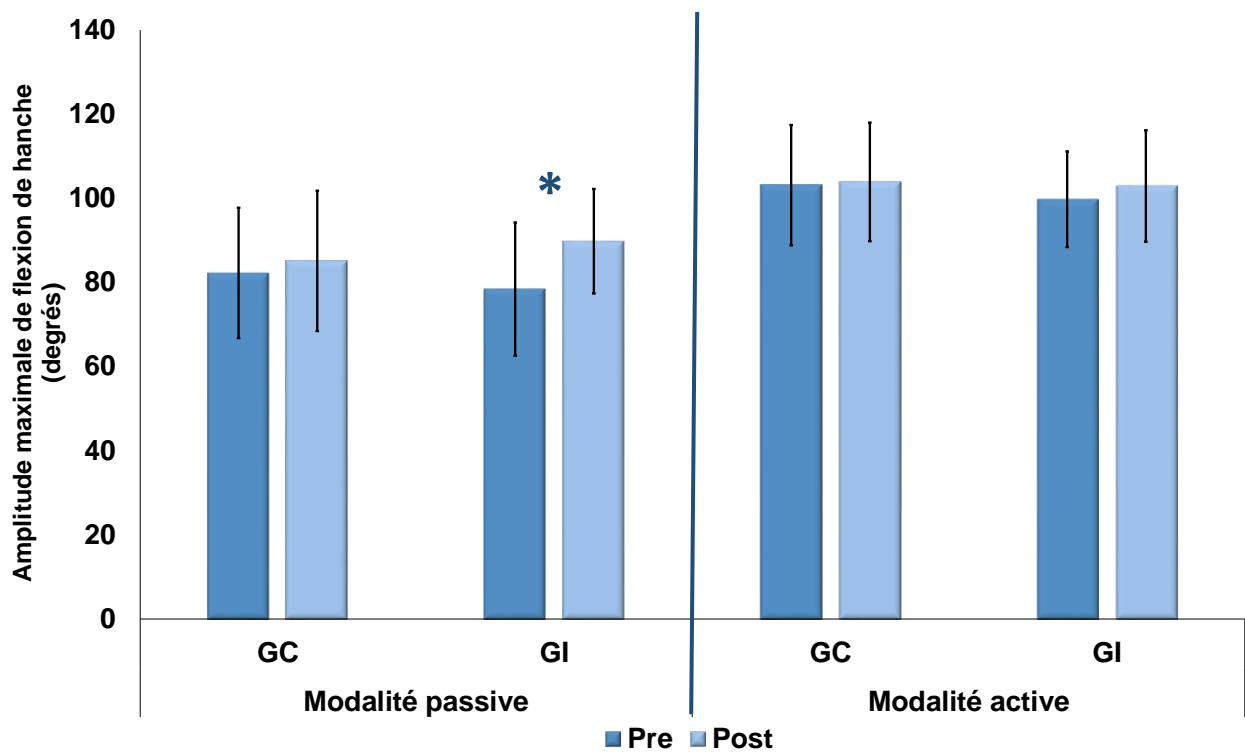


Figure 3. Valeurs moyennes d'amplitudes maximales de flexion de hanche en modalité passive ou active, dans le groupe contrôle (GC) ou le groupe intervention (GI) avant (Pre) ou après le programme excentrique ; * : $p < 0,001$

3.2 Force

Les MFM développés par les IJ lors des évaluations isocinétiques sont présentées dans le tableau 3. Dans le GC, aucune différence significative de force des IJ ou des ratios IJ/Q n'a été observée entre les pré- et post-tests (différence moyenne $< \pm 3,5\%$; $p > 0,05$). Dans le GI, après les 6 semaines d'entraînement, les MFM avaient significativement augmenté ($p < 0,05$) en EXC à $30^\circ/s$ en valeurs absolues (+7,1%) ainsi qu'en EXC à $30^\circ/s$ en valeurs normalisées par rapport au poids (+8,0%). Aucune amélioration de la force CON ou des ratios CON (60 et $240^\circ/s$) n'a été mise en évidence ($p > 0,05$), mais le ratio mixte IJ EXC ($30^\circ/s$)/Q CON ($240^\circ/s$) s'est amélioré de manière significative (+9,1%). Les tailles d'effet des différences significatives entre les pré- et post-tests citées ci-dessus étaient faibles à moyennes (0,34-0,67). En considérant la force CON, le GI comprenait 8 *répondants* (62% du GI) et 5 *non répondants* (38% du GI) ; en considérant la force EXC, 11 *répondants* (85% du GI) contre 2 *non répondants* (15% du GI) ont été identifiés. Seuls deux participants du GI (15% du GI) ont été qualifiés de *non répondants*

au regard du ratio mixte fonctionnel, contre 11 *répondants* (85% du GI). Les MFM développés par le Q n'ont pas été significativement modifiés entre les pré- et post-tests pour chacune des modalités d'évaluation ($p>0,05$).

Tableau 3. Évaluation isocinétique des IJ du côté dominant des groupes contrôle et intervention en pré- et post-tests : moments de force maximale absolus et relatifs, ratios IJ/Q

	Groupe contrôle (n=14)		Groupe intervention (n=13)	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Moment de force maximale absolu (N.m)				
CON60	121,8±22,8	119,4±19,7	115,6±24,6	123,9±24,1
CON240	81,7±15,1	83,1±22,2	76,4±15,4	81,7±14,9
EXC30	171,4±37,8	165,8±42,1	168,6±39,9	181,4±36,1
Moment de force maximale relatif (N.m/kg)				
CON60	1,63±0,38	1,59±0,32	1,54±0,34	1,69±0,33
CON240	1,07±0,20	1,09±0,28	1,04±0,21	1,07±0,18
EXC30	2,25±0,52	2,17±0,55	2,20±0,52	2,39±0,47
Ratios ischio-jambiers/quadriceps				
CON60	0,54±0,09	0,53±0,10	0,57±0,12	0,61±0,12
CON240	0,59±0,13	0,61±0,13	0,58±0,10	0,64±0,11
EXC30/CON240	1,23±0,19	1,19±0,23	1,26±0,24	1,39±0,28

Notes : CON60 = concentrique à 60°/s; CON240 = concentrique à 240°/s; EXC30 = excentrique à 30°/s. Les valeurs en gras indiquent une différence significative entre pré- et post-test ($p<0,05$)

4. Discussion

L'objectif de cet ERC était d'évaluer l'influence d'un programme de terrain d'entraînement excentrique des IJ sur la force et la souplesse, qui sont considérés comme facteurs de risque de LIJ [19]. Les résultats ont montré que, sans exercice additionnel de stretching, l'entraînement excentrique a significativement amélioré la souplesse passive des IJ, mais pas la souplesse durant un exercice actif à dimension explosive. De plus, ce programme d'entraînement a amené une évolution significative de la force excentrique des IJ ainsi que du ratio mixte fonctionnel.

L'amélioration de souplesse lors d'un test passif après le programme excentrique (+11,4°, taille d'effet large) apparaît globalement similaire aux résultats retrouvés par Nelson et Bandy (+12,8°) [19], mais plus importante que ceux de l'étude de Potier et al. (+6,9°) [12]. En comparaison de ces études qui ont également examiné l'influence d'un protocole excentrique sur la souplesse, nous avons utilisé une approche méthodologique différente. Dans l'étude de Potier et al. [12], les sujets devaient réaliser l'exercice excentrique en position de décubitus ventral sur une machine de type *leg curl*. Cette position de décubitus ventral n'autorise pas de flexion de hanche et, en conséquence, le degré d'allongement total des IJ ne peut être considéré comme maximal. Nous émettons l'hypothèse que les gains de souplesse pourraient être supérieurs si les exercices excentriques combinent une flexion de hanche avec une extension de genou. Dans notre étude, la nette amélioration de souplesse pourrait résulter de l'inclusion au programme de deux exercices qui permettent un très haut degré d'allongement des IJ (SLRD et AG). Nelson et Bandy [29] ont utilisé des exercices excentriques à degré d'allongement maximal dans leur étude. Cependant, les sujets devaient rester durant 5 secondes en position d'allongement maximal lors de chaque contraction des IJ, ce qui peut être considéré comme une combinaison d'exercice excentrique traditionnel et d'étirement statique [16]. Le mécanisme le plus plausible par lequel une amélioration de souplesse est observée après un programme excentrique est probablement la sarcomérogenèse, telle que décrite dans les modèles animaux [30]. L'addition de sarcomères en séries amènerait une production de MFM à plus haute amplitude [31] et augmenterait la longueur des fascicules musculaires [12]. De plus, l'entraînement excentrique pourrait également améliorer la vitesse de contraction musculaire spécifiquement en mode excentrique, potentiellement en

optimisant l'utilisation de l'énergie élastique ou la contribution de réflexes facilitants [32]. Étant donné que la supériorité du stretching comparé à l'exercice excentrique sur la souplesse n'est pas établie scientifiquement [16,29], l'utilité du stretching pourrait être questionnée. Nous pensons qu'abandonner la pratique du stretching au profit de l'exercice excentrique exclusif pourrait cependant représenter une erreur car ces deux méthodes génèrent des adaptations distinctes, notamment au niveau des tendons. En effet, il a été démontré que la raideur tendineuse diminuait ou restait stable après étirement [33], tandis qu'elle augmentait après un entraînement excentrique à charge élevée [34,35].

À notre connaissance, cette étude est la première à évaluer l'influence d'un programme excentrique sur la souplesse active. Un manque de souplesse est régulièrement suggéré comme facteur de risque de LIJ [36,37], mais dans les précédentes études sur le sujet, seule la souplesse passive était prise en compte, alors qu'un cycle de course durant une activité de sprint est susceptible d'impliquer des vitesses angulaires dépassant 1000°/s [38]. Dès lors, évaluer la souplesse des IJ dans un mouvement balistique comme le H-test, plus proche des vitesses angulaires développées lors de sprints, pourrait représenter une approche pertinente. À l'origine, Askling et al. [26] ont développé le H-test dans l'objectif de détecter d'éventuels déficits de mobilité ou des appréhensions chez des athlètes atteints de LIJ. Ce test a été conçu pour compléter l'examen clinique traditionnel avant d'autoriser une reprise sportive. Dans notre étude, nous avons adapté le H-test avec un système d'analyse 3D utilisé dans de précédentes études sur la biomécanique du mouvement humain [39,40]. Les résultats ont montré que la souplesse active était supérieure à la souplesse passive dans des proportions similaires à celles retrouvées par Askling (+20 à 23%) [26] mais avec des amplitudes de mouvement inférieures (101.4° versus 117.3° chez Askling). Cette différence pourrait s'expliquer par une plus faible souplesse passive parmi notre cohorte (80.3° versus 90.4° chez Askling). De manière surprenante, alors que la souplesse passive s'est nettement améliorée suite au programme excentrique, aucune augmentation de la souplesse active n'a été observée. Une explication possible à ce constat pourrait provenir du fait qu'aucun des quatre exercices inclus dans le programme n'était réalisé à vitesse de mouvement élevée, ce qui pourrait mener à un manque d'adaptations spécifiques durant un geste explosif comme un H-test. Améliorer la souplesse active – particulièrement durant un mouvement explosif – pourrait être intéressant pour un athlète. Du point de vue de la performance, plus la souplesse des IJ est grande lors

d'un geste dynamique, plus la foulée peut atteindre une amplitude élevée lors d'un sprint. Si l'objectif d'un athlète est d'améliorer son amplitude de foulée lors d'un sprint, cette étude montre clairement qu'un programme excentrique des IJ n'incluant que des exercices réalisés à vitesse lente ou modérée est insuffisant. Il serait alors probablement nécessaire d'intégrer au programme des exercices à haute vitesse de mouvement, même si cela nécessiterait de futures recherches sur le sujet.

À l'issue des 15 sessions d'entraînement, des améliorations de force excentrique des IJ (+7,1 à 8%) ont été observées. Orishimo et McHugh [41] ont rapporté des gains globalement similaires (+9%) après un programme excentrique à domicile de 4 semaines, mais l'évaluation de la force n'était réalisée qu'en mode isométrique. Or, la LIJ survient typiquement en fin de phase oscillante lors d'un sprint, quand les IJ doivent décélérer l'extension de genou grâce à une contraction excentrique en position d'allongement musculaire quasiment maximale [4]. L'évaluation de force des IJ en mode excentrique apparaît dès lors plus pertinente qu'en mode isométrique [27]. Avec des améliorations de force EXC et CON de, respectivement, 16 à 38% et 15 à 20%, les précédentes études ont trouvé une efficacité supérieure des exercices excentriques comparativement à notre étude [19,42-45]. Dans une majorité de ces études, les exercices excentriques étaient réalisés à l'aide de dynamomètres ou de machines de musculation spécifiques autorisant un monitoring précis de l'intensité de travail. Nous émettons l'hypothèse que les gains modérés de force en mode EXC ainsi que l'absence de gains en CON pourraient être liés à l'absence de feedback objectif de l'intensité de chaque exercice. À titre d'exemple, Geremia et al. [35] et Baroni et al. [46] ont utilisé un dynamomètre isocinétique pour l'entraînement excentrique, ce qui leur permettait de recevoir instantanément un feedback de l'intensité de la force développée par les participants. Si cette intensité n'était pas considérée comme maximale, les examinateurs pouvaient intervenir auprès des participants afin de leur demander une intensité supérieure, de sorte que l'exercice pouvait, in fine, être réalisé à charge maximale. Dans la présente étude, bien que les sujets étaient invités à effectuer chaque exercice à intensité maximale, les examinateurs ne possédaient pas de feedback objectif puisque les exercices étaient réalisés sans l'aide d'outil spécifique. Ce constat pourrait présenter de l'importance pour les entraîneurs et les thérapeutes : l'intensité maximale lors d'exercices de terrain, avec poids du corps comme unique résistance, pourrait potentiellement ne pas être atteinte.

Un déséquilibre IJ/Q a été suggéré comme facteur de risque de LIJ [27]. Selon Croisier et al., un ratio mixte fonctionnel (mesuré via Cybex®) inférieur à 0.80 témoigne d'un déséquilibre musculaire. Initialement, les participants de la présente étude ne présentaient aucun déséquilibre de ce type ($1,26 \pm 0,24$) ; il n'a dès lors pas été possible de déterminer si le protocole excentrique était en mesure de normaliser un profil musculaire déséquilibré. Cependant, après les 6 semaines d'entraînement excentrique, nous avons observé une augmentation du ratio mixte fonctionnel (+9,3%) sans modification de la force quadricipitale. Ce ratio fonctionnel a augmenté jusqu'à des valeurs de 1,39, soit un niveau très proche d'une « zone d'absence de blessure » ($> 1,40$) décrite par Croisier dans une large étude prospective parmi des joueurs de football élités [27].

Les résultats de cette étude doivent être considérés au regard de potentielles forces et limitations. À notre connaissance, cette étude était la première à examiner l'influence d'un protocole de renforcement excentrique sur la souplesse active lors d'un mouvement explosif combinant flexion de hanche et extension de genou. Un second aspect positif important de l'étude était que l'entièreté du programme ne nécessite aucun matériel spécifique. Par conséquent, les exercices de ce programme préventif peuvent être facilement implémentés sur et autour des terrains de sport, en particulier chez les sportifs amateurs qui ne bénéficient pas toujours d'infrastructures spécifiques. Troisièmement, la compliance au programme était excellente (98%), ce qui contribue à conférer aux conclusions de cette étude un degré d'évidence élevé [47]. En ce qui concerne les limitations, les participants étaient engagés dans la pratique régulière d'une activité sportive (sept sports différents pour l'ensemble de la cohorte) à un niveau amateur. Nous ne pouvons donc pas affirmer qu'une population de sportifs élités ou d'une seule discipline sportive en particulier présenterait les mêmes résultats. De plus, étant donné que nous n'avons pas inclus de femmes dans l'étude, nous ne pouvons extrapoler de résultats à une population féminine. Finalement, comme mentionné précédemment, aucun exercice à haute vitesse angulaire n'a été intégré au protocole EXC. Ajouter au programme des exercices spécifiques à vitesse rapide, comme le *fitball flexion* ou le *Kettlebell swing exercise* [20], pourrait potentiellement induire des améliorations plus grandes aux paramètres relevés lors du H-test. Cependant, il semblerait que les adaptations observées après un entraînement EXC soient indépendantes de la vitesse d'exercice [2]. À titre d'exemple, Iga et al. [44] ont démontré qu'un protocole d'entraînement de 4 semaines de NHE

– exercice à vitesse angulaire très faible – générerait des améliorations identiques de MFM à 60, 120 et 240°/s. Les adaptations observées après un entraînement EXC réalisé à vitesse angulaire faible pourraient dès lors protéger les IJ, même lors d'un allongement brusque de ces muscles comme lors d'un sprint. Il apparaît donc raisonnable de proposer préférentiellement des exercices EXC à vitesse faible à modérée [2].

5. Conclusion

Cet essai randomisé contrôlé a démontré qu'un programme excentrique d'une durée de 6 semaines, composé de 4 exercices progressifs de renforcement des ischio-jambiers, représente une méthode efficace pour améliorer certains facteurs de risque de lésion de ces muscles, tels que souplesse passive, force excentrique et ratio fonctionnel. La réalisation d'un tel programme chez des athlètes à risque élevé de blessure (ex : footballeurs) pourrait dès lors s'avérer utile en prévention lésionnelle. De plus, étant donné que ce type de programme ne requiert aucun équipement spécifique, il peut facilement être implémenté en contexte réel, en particulier chez des athlètes amateurs. Des recherches complémentaires sont cependant nécessaires pour déterminer si un tel protocole d'entraînement peut réduire l'incidence lésionnelle parmi une population à risque.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier chaleureusement Madame Annie Depaifve pour sa contribution à la réalisation de ce manuscrit, ainsi que l'ensemble des participants à cette étude pour leur investissement.

Références

1. Murphy JC, O'Malley E, Gissane C, Blake C. Incidence of injury in Gaelic football: a 4-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2012 Sep;40(9):2113–20.
2. Guex K, Millet GP. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports Med.* 2013 Dec;43(12):1207–15.
3. van Beijsterveldt AMC, van der Horst N, van de Port IGL, Backx FJG. How effective are exercise-based injury prevention programmes for soccer players?: A systematic review. *Sports Med.* 2013 Apr;43(4):257–65.
4. van der Horst N, Smits D-W, Petersen J, Goedhart EA, Backx FJG. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2015 Jun;43(6):1316–23.
5. Freckleton G, Pizzari T. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2013 Apr;47(6):351–8.
6. Ekstrand J, Hagglund M, Kristenson K, Magnusson H, Walden M. Fewer ligament injuries but no preventive effect on muscle injuries and severe injuries: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med.* 2013 Aug;47(12):732–7.
7. Cloke D, Moore O, Shah T, Rushton S, Shirley MDF, Deehan DJ. Thigh muscle injuries in youth soccer: predictors of recovery. *Am J Sports Med.* 2012 Feb; 40(2): 433–9.
8. Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Intrinsic risk factors for hamstring injuries among male soccer players: a prospective cohort study. *Am J Sports Med.* 2010 Jun;38(6):1147–53.
9. van Beijsterveldt AMC, van de Port IGL, Vereijken AJ, Backx FJG. Risk factors for hamstring injuries in male soccer players: a systematic review of prospective studies. *Scand J Med Sci Sports.* 2013 Jun;23(3):253–62.
10. Bourne MN, Timmins RG, Opar DA, Pizzari T, Ruddy JD, Sims C, Williams MD, Shield AJ. An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises to Prevent Hamstring Injury. *Sports Med.* 2018 Feb;48(2):251–67.
11. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, Hickey J, Duhig SJ, Shield AJ. Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. *Med Sci Sports Exerc.* 2015 Apr;47(4):857–65.
12. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Apr;105(6):939–44.
13. Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, Kerr GK, Shield AJ. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: implications for injury prevention. *Br J Sports Med.* 2017 Mar;51(5):469–77.
14. Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Appl Physiol.* 2017 May;117(5):943–53.
15. Fousekis K, Tsepis E, Poulmedis P, Athanasopoulos S, Vagenas G. Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: a prospective study of 100 professional players. *Br J Sports Med.* 2011 Jul;45(9):709–14.
16. O'Sullivan K, McAuliffe S, Deburca N. The effects of eccentric training on lower limb flexibility: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2012 Sep;46(12):838–45.
17. Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2017 May;47(5):907–16.
18. Oakley AJ, Jennings J, Bishop CJ. Holistic hamstring health: not just the Nordic hamstring exercise. *Br J Sports Med.* 2018 Jul;52(13):816–7.

19. Guex KJ, Lugin V, Borloz S, Millet GP. Influence on Strength and Flexibility of a Swing Phase-Specific Hamstring Eccentric Program in Sprinters' General Preparation. *J Strength Cond Res*. 2016 Feb;30(2):525–32.
20. Tsaklis P, Malliaropoulos N, Mendiguchia J, Korakakis V, Tsapralis K, Pyne D, Malliaras P. Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation. *Open Access J Sports Med*. 2015;6:209–17.
21. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 Statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *BMC Med*. 2010 Mar;24:8-18.
22. Harriss DJ, Macsween A, Atkinson G. Standards for ethics in sport and exercise science research: 2018 update. *Int J Sports Med*. 2017 Dec;38(14):1126-31.
23. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jorgensen E, Holmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial. *Am J Sports Med*. 2011 Nov;39(11):2296–303.
24. Askling CM, Tengvar M, Tarassova O, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomized controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med*. 2014 Apr;48(7):532–9.
25. van Melick N, Meddeler BM, Hoogeboom TJ, Nijhuis-van der Sanden MWG, van Cingel REH. How to determine leg dominance: the agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS One*. 2017 Dec;12(12):e0189876.
26. Askling CM, Nilsson J, Thorstensson A. A new hamstring test to complement the common clinical examination before return to sport after injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010 Dec;18(12):1798–803.
27. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*. 2008 Aug;36(8):1469–75.
28. Cadore EL, Pinto RS, Teodoro JL, Da Silva LN, Menger E, Alberton CL, Cunha G, Schumann M, Bottaro M, Zambom-Ferraresi F, Izquierdo M. Cardiorespiratory adaptations in elderly men following different concurrent training regimes. *J Nutr Health Aging*. 2018;22(4):483-490.
29. Nelson RT, Bandy WD. Eccentric Training and Static Stretching Improve Hamstring Flexibility of High School Males. *J Athl Train*. 2004 Sep;39(3) 254–8.
30. Lynn R, Morgan DL. Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *J Appl Physiol*. 1994 Sep;77(3):1439–44.
31. Kilgallon M, Donnelly AE, Shafat A. Progressive resistance training temporarily alters hamstring torque-angle relationship. *Scand J Med Sci Sports*. 2007 Feb;17(1):18–24.
32. Cormie P, McGuigan MR, Newton MU. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shortened cycle performance after training. *Med Sci Sports Exerc*. 2010 Sep;42(9):1731-44.
33. Witvrouw E, Mahieu N, Roosen P, McNair P. The role of stretching in tendon injuries. *Br J Sports Med*. 2007 Apr;41(4):224-6.
34. Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Med Open*. 2015 Dec;1(1):7.
35. Geremia JM, Baroni BM, Bobbert MF, Bini RR, Lanferdini FJ, Vaz MA. Effects of high loading by eccentric triceps surae training on Achilles tendon properties in humans. *Eur J Appl Phys*. 2018 Aug;118(8):1725-36.
36. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med*. 2003 Jan;31(1):41–6.
37. van Dyk N, Bahr R, Whiteley R, Tol JL, Kumar BD, Hamilton B, Farooq A, Witvrouw E. Hamstring and quadriceps isokinetic strength deficits are weak risk factors for hamstring strain injuries: A 4-Year Cohort Study. *Am J Sports Med*. 2016 Jul;44(7):1789–95.
38. Kivi DMR, Maraj BKV, Gervais P. A kinematic analysis of high-speed treadmill sprinting over a range of velocities. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Apr;34(4):662–6.

39. Schwartz C, Forthomme B, Paulus J, Kaux JF, Bruls O, Denoel V, Croisier JL. Reliability of unipodal and bipodal counter movement jump landings in a recreational male population. *Eur J Sport Sci*. 2017 Oct;17(9):1143–52.
40. Schwartz C, Denoel V, Forthomme B, Croisier J-L, Bruls O. Merging multi-camera data to reduce motion analysis instrumental errors using Kalman filters. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2015 Jul;18(9):952–60.
41. Orishimo KF, McHugh MP. Effect of an eccentrically biased hamstring strengthening home program on knee flexor strength and the length-tension relationship. *J Strength Cond Res*. 2015 Mar;29(3):772-8.
42. Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*. 2003 Aug;13(4):244–50.
43. Mjolsnes R, Arnason A, Osthagen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports*. 2004 Oct;14(5):311–7.
44. Iga J, Fruer CS, Deighan M, Croix MDS, James DVB. 'Nordic' hamstrings exercise - engagement characteristics and training responses. *Int J Sports Med*. 2012 Dec;33(12):1000–4.
45. Kaminski TW, Wabbersen CV, Murphy RM. Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *J Athl Train*. 1998 Jul;33(3):216–21.
46. Baroni BM, Rodrigues R, Franke RA, Geremia JM, Rassier DE, Vaz MA. Time course of neuromuscular adaptations to knee extensor eccentric training. *Int J Sports Med*. 2013 Oct;34(10):904-11.
47. Goode AP, Reiman MP, Harris L, DeLisa L, Kauffman A, Beltramo D, Poole C, Ledbetter L, Taylor AB. Eccentric training for prevention of hamstring injuries may depend on intervention compliance: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2015 Mar;49(6):349–56.

Étude 5

Facteurs prédictifs d'un retour à la performance après plastie du ligament croisé antérieur

François Delvaux^{1,3,8}, Nadia Dardenne², Cédric Schwartz³, Stephen Bornheim¹, Jean-François Kaux^{1,8}, Christophe Daniel⁴, Romain Seil^{5,6,7,8}, Jean-Louis Croisier^{1,3,8}

¹ *Département des Sciences de la Motricité, Université de Liège, Liège, Belgique*

² *Département de Santé Publique, Université de Liège, Liège, Belgique*

³ *Laboratoire d'Analyse du Mouvement Humain, Université de Liège, Liège, Belgique*

⁴ *Département de Chirurgie Orthopédique, Centre Hospitalier Universitaire de Liège, Liège, Belgique*

⁵ *Département de Chirurgie Orthopédique, Centre Hospitalier de Luxembourg – Clinique d'Eich, Luxembourg*

⁶ *Institut Luxembourgeois de recherche en Orthopédie, Science et Médecine du Sport, Luxembourg*

⁷ *Laboratoire de recherche en Médecine du Sport, Institut Luxembourgeois de la Santé, Luxembourg*

⁸ *Réseau Francophone Olympique sur la Recherche en Médecine du sport (ReFORM)*

Soumis pour publication

Résumé

Objectifs

Parmi des athlètes amateurs opérés d'une plastie du ligament croisé antérieur (PLCA), déterminer si la récupération de leur niveau sportif d'avant blessure pouvait être prédite grâce à une batterie de tests réalisée 6 mois après la chirurgie.

Matériels et Méthodes

Cinquante-neuf participants ont été évalués 6 mois après PLCA (6.1 ± 0.3 mois). La batterie de tests se composait de : single hop (SH) test, test isocinétique, Landing Error Scoring System, Y-Balance test, ainsi que les questionnaires Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) et ACL-Return to Sport after Injury (ACL-RSI). Le retour à la performance (RP) était évalué à intervalles réguliers durant deux ans post PLCA. Une régression logistique a été utilisée pour déterminer les facteurs prédictifs et l'indice de Youden a été calculé pour identifier les valeurs seuils des facteurs prédictifs de RP.

Résultats

Dans les deux années consécutives à la PLCA, 37 participants (63%) ont retrouvé leur niveau de performance pré-lésionnel (groupe RP), contre 22 (37%) qui n'ont pas retrouvé ce niveau (groupe NRP, non retour à la performance). Des différences significatives entre groupes RP et NRP ont été observées à certaines épreuves de la batterie : niveau d'activité ($p < 0,001$), KOOS ($p < 0,001$), ACL-RSI ($p < 0,001$), SH ($p < 0,001$), différence bilatérale du moment de force maximale (MFM) du quadriceps à $60^\circ/\text{s}$ et $240^\circ/\text{s}$ ($p = 0,0035$ et $0,019$, respectivement), différence bilatérale du MFM concentrique ($60^\circ/\text{s}$) et excentrique ($30^\circ/\text{s}$) des ischio-jambiers ($p = 0,016$ et $0,024$, respectivement). Le seul facteur prédictif de RP était le score ACL-RSI (OR 1,70; $p = 0,010$) avec un indice de Youden de 65 points (sensibilité: 1,00; spécificité: 0,92).

Conclusion

Le ressenti psychologique, évalué 6 mois après PLCA via le questionnaire ACL-RSI, représente un facteur prédictif de retour à la performance similaire au niveau pré-lésionnel dans les deux années consécutives à la chirurgie.

Mots-clés

Reconstruction du LCA ; Retour à la performance ; Ressenti psychologique ; Anterior Cruciate Ligament – Return to Sport after Injury.

1. Introduction

Typiquement, les buts de la chirurgie et de la rééducation après plastie du ligament croisé antérieur (PLCA) consistent à permettre au patient un retour au même niveau sportif qu'avant la blessure tout en minimisant le risque de récurrence [1]. Pour ce faire, des critères spécifiques ont été proposés afin de déterminer l'aptitude du patient à reprendre son activité sportive [2,3]. Une récente scoping review [4] a identifié six catégories de critères de retour sur terrain (RST), permettant d'apprécier un large spectre de facteurs de risque de rupture du LCA [5] : délai post-opératoire, force musculaire, qualité de sauts en unipodal, examen clinique, patient-reported outcome measures (PROM's) et performances fonctionnelles. Malgré l'identification de ces critères, les modalités précises d'évaluation et les valeurs-seuil de ces critères de RST ne semblent pas établies à l'heure actuelle [4,6], notamment parce que les études qui s'y rapportent n'ont que peu utilisé un design prospectif [5]. Parmi les études prospectives incluant des sportifs amateurs ou élites, il a été démontré que le risque de récurrence de rupture du LCA (rupture de plastie ou du LCA controlatéral) était supérieur chez les sportifs qui ne validaient pas ces critères de « décharge » avant le retour au sport [1,7,8].

Si le niveau sportif ne semble pas associé au risque de récurrence, les taux de retour au sport au même niveau qu'avant blessure apparaissent plus faibles chez les amateurs que chez les élites [9]. À notre connaissance, le lien entre la validation de critères de RST et le taux de reprise sportive parmi des sportifs amateurs avec un suivi minimum de deux années n'a été exploré que dans une seule étude. Nawasreh et al. [10] ont démontré que 84% des sportifs qui validaient des critères de décharge (obtenus 6 mois post PLCA) avant la reprise sportive retrouvaient dans un délai de maximum deux années leur niveau de jeu antérieur à la blessure. À l'opposé, seuls 46% des sportifs qui ne validaient pas ces critères étaient capables de retrouver leur niveau de jeu antérieur. Dans cette étude, la batterie de tests n'était composée que d'une évaluation de la force isométrique du quadriceps, de hop tests et de deux questionnaires (Knee Outcome Survey – Activities of Daily Living Scale (KOS-ADLS) and Global Rating Score (GRS)). Dès lors, plusieurs domaines de facteurs de risque de récurrence n'ont pas été intégrés aux tests, comme par exemple une évaluation des qualités gestuelles [11,12], de la disposition psychologique à reprendre le sport [13–15], de l'équilibre dynamique [16], ou encore de la force musculaire dynamique des quadriceps (Q) et ischio-jambiers (IJ) [1,17].

Les objectifs de cette étude étaient de déterminer, parmi des athlètes amateurs opérés d'une PLCA, si la récupération de leur niveau sportif d'avant blessure pouvait être prédite grâce à une batterie de tests réalisée 6 mois après la chirurgie. Nous avons émis l'hypothèse que des critères fonctionnels et psychologiques pourraient s'avérer prédictifs d'un retour à une performance sportive identique au niveau pré-lésionnel.

2. Matériels et méthodes

2.1. Population

Les participants, recrutés via deux services de chirurgie orthopédique issus de deux centres hospitaliers différents entre avril 2016 et décembre 2017, ont tous subi une reconstruction du LCA par arthroscopie avec plastie autologue de type DIDT (semitendineux, gracile). Un contact téléphonique était établi entre la vingtième et la vingt-deuxième semaine post-opératoire afin de vérifier les critères d'inclusion et d'exclusion à l'étude, et, le cas échéant, convenir d'une date pour les évaluations. Les critères d'inclusion étaient les suivants : âge compris entre 18 et 40 ans, PLCA isolée 6 mois avant les évaluations et pratique régulière d'une activité sportive de niveau I (impliquant sauts, pivots et changement brusques de direction comme le football) ou de niveau II (ski, tennis) [18]. Les sportifs professionnels, les sportifs avec antécédents de blessure sévère (nécessitant un arrêt sportif de minimum 4 semaines [19]) ou avec lésions méniscales et/ou cartilagineuses ou encore à d'autres ligaments du genou ont été exclus de l'étude. Tous les participants ont reçu une rééducation progressive incluant une récupération des déficits d'amplitudes articulaires de flexion/extension de genou, de renforcement musculaire et de contrôle proprioceptif. Parmi les 103 patients recrutés, 95 ont accepté de participer mais, en raison d'antécédents de blessure sévère de genou ($n=10$) ou de lésion non isolée du LCA ($n=24$), 61 participants ont rempli les critères d'inclusion (figure 1). Au moment des évaluations (6.1 ± 0.3 mois), aucun participant n'avait retrouvé son niveau de jeu d'avant blessure. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique local (B707201422768) et les participants ont rempli un formulaire de consentement éclairé.



Figure 1. Flow chart de l'étude

2.2. Données démographiques et patient-reported outcome measures

Avant le démarrage des évaluations fonctionnelles et musculaires, les données démographiques de base (sexe, âge, taille, poids) ont été récoltées, de même que la durée de rééducation, le délai entre blessure et chirurgie, le niveau de pratique sportive et deux questionnaires PROM's. Le niveau de pratique sportive d'avant blessure et au moment des évaluations a été déterminé à l'aide du Marx Activity Rating Scale (ARS) : les scores sont compris entre 0 et 16, et plus la valeur est élevée, plus le niveau sportif l'est également [20]. Les deux questionnaires de PROM's étaient le *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score* (KOOS) [21,22] et le *ACL-Return to Sports after Injury* (ACL-RSI) [23,24].

2.3. Évaluations fonctionnelles

Les évaluations fonctionnelles ont été choisies dans l'optique d'intégrer toutes les catégories de critères de RST décrites par Burgi et al. [5], permettant ainsi d'apprécier un large spectre de facteurs de risque de rupture du LCA et de marqueurs de la qualité de récupération post-opératoire. Cette batterie de tests comporte des évaluations régulièrement utilisées tant en pratique clinique quotidienne qu'en recherche scientifique.

L'ensemble des évaluations a été réalisé durant la même journée. Avant le démarrage d'un échauffement (bicyclette ergométrique à 70 Watts, 8 minutes), les amplitudes articulaires maximales (AAM) en flexion et extension de genoux ont été relevées à l'aide d'un goniomètre universel. La longueur totale du membre inférieur a ensuite été mesurée de l'épine iliaque antéro-supérieure jusqu'à la partie la plus distale de la malléole latérale de la cheville [25]. Une fois l'échauffement terminé, l'épreuve du Landing Error Scoring System (LESS) a été réalisée selon les modalités décrites par Padua et al. [26]. À partir d'une caisse rigide de 30 cm de hauteur, le participant devait sauter vers une cible située à une distance équivalant à la moitié de sa taille. Directement lors de l'atterrissage dans la cible, il était demandé au participant de réaliser un saut vertical maximal. Deux caméras (JVC Everio GZ-HD40, Japon) filmaient le saut de face (plan frontal) et de profil (plan sagittal). Chaque saut était donc enregistré et analysé par après à l'aide de la grille d'évaluation du LESS [12].

Ensuite, une évaluation isocinétique, identique à celle décrite précédemment par Croisier et al. [27], était réalisée sur Cybex Humac Norm® (CSMI, Stoughton, MA, USA) pour évaluer les performances musculaires du Q et des IJ. Le participant était assis sur le siège du dynamomètre (105° de flexion de hanche) avec des sangles attachées au niveau de la cuisse et du tronc pour éviter d'éventuelles compensations. L'amplitude de mouvement était fixée à 100° à partir de l'extension maximale de genou. Une familiarisation au dynamomètre était systématiquement effectuée à 120°/s : 10 répétitions sous-maximales suivies de 6 répétitions progressivement intensifiées jusqu'à la performance maximale. De plus, avant chaque épreuve, trois répétitions à la vitesse du test étaient imposées. Aucun feedback visuel n'était donné durant le test, mais le participant recevait des encouragements verbaux de la part de l'expérimentateur. Le protocole d'évaluation comprenait : 3 essais à 60°/s et 5 essais à 240°/s en mode concentrique (CON) pour les IJ et le Q. Pour clôturer le test, les IJ étaient également évalués en mode excentrique (EXC) à une vitesse angulaire de 30°/s (3 essais). Entre ces séries, un intervalle de repos d'une minute était imposé. Les paramètres analysés étaient les moments de force maximale (MFM ; en N.m et en N.m/kg). Un ratio conventionnel IJ/Q était établi pour chaque vitesse angulaire, et un ratio mixte fonctionnel associant MFM en EXC à 30°/s des IJ et MFM en CON à 240°/s du Q était également calculé.

Après l'épreuve isocinétique, le Y balance test (YBT) était réalisé avec le kit de test spécifique (Functional Movement Systems®). Le participant, en position d'appui unipodal debout sans chaussures sur la plateforme, devait toucher le point le plus loin possible avec la pointe du pied du côté oscillant selon un axe d'abord antérieur (AA), puis postéro-médial (APM) et enfin postéro-latéral (APL) [25]. Les distances atteintes vers chaque axe ont été relevées, et une normalisation en fonction de la longueur du membre inférieur (LMI) a été calculée selon l'équation suivante : $(\text{distance maximale (cm)} / \text{LMI (cm)}) * 100$. Un score composite a également été calculé selon la formule $((\text{AA} + \text{APM} + \text{APL}) / (\text{LMI} * 3)) * 100$.

Pour clôturer les évaluations fonctionnelles, le single hop test (SH) a été exécuté selon les recommandations originales décrites par Noyes et al. [28]. Pour considérer un essai comme valide, le saut devait être strictement unipodal du début à la fin; la distance totale en centimètres était mesurée du bord postérieur du talon lors de la phase initiale d'appui jusqu'au même repère lors de l'atterrissage. Un indice de symétrie (IS) a été calculé selon la formule $(\text{distance côté opéré (cm)} / \text{distance côté sain}) * 100$.

2.4. Follow-up

À 24 mois post chirurgie, les participants étaient contactés par téléphone. Le niveau d'activité [20], le retour à un niveau sportif similaire ou inférieur à la période d'avant blessure et la survenue éventuelle d'une récurrence (rupture de plastie ou rupture controlatérale du LCA) étaient demandés. Selon le continuum de retour au sport décrit par Ardern et al. [29], les participants qui avaient retrouvé leur activité sportive d'avant blessure et qui étaient capables de performer à un niveau au moins identique à cette période étaient classés dans le groupe *retour à la performance* (RP). À l'inverse, les participants qui n'ont pas repris leur activité sportive pratiquée avant la blessure (ou qui n'ont pas retrouvé leur niveau de performance souhaité) étaient classés dans le groupe *non-retour à la performance* (NRP).

2.5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées via les logiciels SAS 9.4 (*SAS Institute*) et R 3.5. Les variables quantitatives sont exprimées en moyenne \pm écart-type (EC) ou en médiane et écart interquartile (Q1-Q3). Les variables qualitatives sont exprimées sous forme d'effectif et de fréquence (%). La normalité des distributions a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, des histogrammes et Quantile-Quantile plots et comparaison des moyennes et médianes. La comparaison des paramètres quantitatifs entre les groupes RP et NRP avant 24 mois est réalisée à l'aide de l'analyse de la variance (ANOVA) ou du test non paramétrique de Kruskal-Wallis (KW) pour les distributions dissymétriques ; la comparaison des paramètres qualitatifs entre ces mêmes groupes de sujets est quant à elle réalisée à l'aide d'un test du Chi-carré ou test exact de Fisher. Afin de modéliser la probabilité de RP, un modèle de régression logistique binaire multivarié a ensuite été réalisé avec les paramètres significatifs ($p < 0,05$) en univarié. Un modèle de sélection automatique de variables STEPWISE a été appliqué dû à la présence de multi-colinéarité. Les résultats sont présentés sous forme de rapport de cotes (*Odds ratio*) et d'intervalles de confiance à 95%. Sur base de ce modèle multivarié, la méthode dite de Youden a été appliquée afin de déterminer un *cutoff* des paramètres significatifs permettant de prédire au mieux un retour réussi avant 24 mois post chirurgie. Une courbe ROC (*Receiving Operating Characteristic*) a également été réalisée et l'aire sous la courbe (*Area Under the Curve* - AUC) calculée. Un test statistique a de plus été réalisé afin de tester l'hypothèse que l'AUC est

significativement ou non différente de 0,5, cette valeur correspondant à un effet non discriminant du paramètre. La sensibilité et la spécificité ont ensuite été calculés à partir du *cutoff* trouvé.

Les résultats sont significatifs au niveau d'incertitude $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$).

3. Résultats

Suite à une perte de contact avec deux participants durant la première année de suivi, 59 participants ont complété l'étude. Dans un délai de maximum deux années après la PLCA, 37 participants (63%) ont retrouvé leur niveau sportif d'avant blessure (groupe RP), contre 22 participants (37%) qui n'ont pas retrouvé ce niveau (groupe NRP). Dans le groupe RP, la durée moyenne avant le RP était de $8,1 \pm 1,8$ mois et quatre participants (11% du groupe RP) ont subi une rupture de plastie ou une rupture controlatérale du LCA. Dans le groupe NRP, 9 participants (41% du groupe) ont définitivement abandonné leur discipline sportive et 13 participants (59% du groupe) ont repris leur activité d'avant blessure mais à un niveau inférieur ; dans ce groupe, aucune récurrence n'a été constatée. Le tableau 1 reprend les données démographiques et les caractéristiques de base ; aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes ($p > 0,05$).

Tableau 1. Données démographiques et caractéristiques de base des participants

	Groupe RP (n=37)	Groupe NRP (n=22)	<i>p</i> valeur
Sexe (femmes/hommes)	10 (27%)	7 (32%)	0,69
	27 (73%)	15 (68%)	
Âge (années)	25 (21-31)	25,5 (21-28)	0,97
Taille (cm)	176,2 (7,7)	174,7 (9,3)	0,50
Masse (kg)	72,6 (8,8)	71,4 (11,7)	0,68
Délai blessure - chirurgie (mois)	4 (3-5)	4 (2-5)	0,56
Durée de rééducation (mois)	8,2 (2,3)	8,8 (2,6)	0,24
Score ARS (avant blessure)	12 (11-14)	12,5 (12-16)	0,38
Niveau sportif avant blessure			
Niveau I	26 (70%)	16 (73%)	
Niveau II	11 (30%)	6 (27%)	

Valeurs exprimées en moyennes (écart-type) ou médianes (P25-P75) ou en nombre de cas (%). RP, retour à la performance ; NRP, non-retour à la performance ; ARS, Activity Rating Score

Lorsque l'on compare les PROM's et les évaluations fonctionnelles des groupes RP et NRP au moment des tests, des différences significatives sont observées pour le niveau d'activité (ARS; $p < 0,001$), les scores KOOS ($p < 0,001$) et ACL-RSI ($p < 0,001$), l'IS du SH ($p < 0,001$), les différences bilatérales des MFM CON du Q à 60 et 240°/s ($p = 0,0035$ and $0,019$, respectivement), et les différences bilatérales des MFM des IJ à 60 (CON) et 30°/s (EXC) ($p = 0,016$ and $0,024$, respectivement) (tableau 2).

Tableau 2. Résultats des évaluations 6 mois après chirurgie

Variables	Groupe RP (n=37)	Groupe NRP (n=22)	p valeur
Score ARS	8 (7-10)	5 (4-6)	<0,001
Score KOOS (%)	73,8 (7,8)	63,1 (10,0)	<0,001
Score ACL-RSI (points)	76,2 (8,2)	49,6 (8,7)	<0,001
Différence bilatérale d'amplitude maximale de flexion de genou (°)	5 (2-8)	6,5 (3-10)	0,24
<u>Score composite au YBT</u>			
Côté sain (cm)	270 (29)	263 (28)	0,53
Côté opéré (cm)	261 (26)	256 (28)	0,45
Indice de symétrie (%)	3 (4)	3 (4)	0,73
<u>Score composite au YBT (normalisé par rapport à la longueur de jambe)</u>			
Côté sain (cm)	93 (5)	92 (6)	0,33
Côté opéré (cm)	91 (6)	89 (6)	0,26
Indice de symétrie (%)	2 (4)	3 (4)	0,63
LESS score	5 (3-6)	6 (4,5-7)	0,13
<u>Single Hop test</u>			
Côté sain (cm)	175 (34)	171 (35)	0,72
Côté opéré (cm)	163 (37)	145 (35)	0,080
Indice de symétrie (%)	93 (7)	85 (8)	<0,001
<u>Moment de force maximale à 60°/s (concentrique)</u>			
Quadriceps côté sain (N.m/kg)	2,44 (0,48)	2,68 (0,49)	0,076
Quadriceps côté opéré (N.m/kg)	2,11 (0,47)	2,12 (0,52)	0,95
Différence bilatérale (%)	-13 (9)	-21 (12)	0,0035
Ischio-jambiers côté sain (N.m/kg)	1,31 (0,35)	1,45 (0,32)	0,12
Ischio-jambiers côté opéré (N.m/kg)	1,19 (0,30)	1,23 (0,29)	0,60
Différence bilatérale (%)	-9 (12)	-16 (8)	0,016

Tableau 2 (suite). Résultats des évaluations 6 mois après chirurgie

Variables	Groupe RP (n=37)	Groupe NRP (n=22)	p valeur
<u>Moment de force maximale à 240°/s (concentrique)</u>			
Quadriceps côté sain (N.m/kg)	1,60 (0,36)	1,71 (0,34)	0,25
Quadriceps côté opéré (N.m/kg)	1,42 (0,38)	1,42 (0,36)	0,96
Différence bilatérale (%)	-11 (9)	-18 (11)	0,019
Ischio-jambiers côté sain (N.m/kg)	0,87 (0,23)	0,93 (0,23)	0,28
Ischio-jambiers côté opéré (N.m/kg)	0,79 (0,24)	0,85 (0,24)	0,40
Différence bilatérale (%)	-8 (12)	-10 (7)	0,60
<u>Moment de force maximale à 30°/s (excentrique)</u>			
Ischio-jambiers côté sain (N.m/kg)	1,78 (0,56)	1,90 (0,48)	0,40
Ischio-jambiers côté opéré (N.m/kg)	1,60 (0,54)	1,58 (0,45)	0,88
Différence bilatérale (%)	-10 (12)	-16 (10)	0,024
<u>Ratios Ischio-jambiers / Quadriceps</u>			
Côté sain à 60°/s	0,53 (0,07)	0,54 (0,07)	0,60
Côté opéré à 60°/s	0,56 (0,09)	0,59 (0,11)	0,28
Côté sain à 240°/s	0,54 (0,06)	0,55 (0,07)	0,74
Côté opéré à 240°/s	0,55 (0,08)	0,60 (0,11)	0,051
Ratio mixte côté sain	1,11 (0,21)	1,11 (0,20)	0,95
Ratio mixte côté opéré	1,13 (0,22)	1,13 (0,18)	0,96

Valeurs exprimées en moyennes (écart-type) ou médianes (P25-P75). RP, retour à la performance; NRP, non-retour à la performance; ARS, Activity Rating Score; KOOS, Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score; ACL-RSI, Anterior Cruciate Ligament – Return to Sports after Injury; YBT, Y Balance Test; LESS, Landing Error Scoring System. Les valeurs surlignées en gras indiquent des différences significatives

Les analyses multivariées ont ensuite inclus les paramètres significativement différents entre les groupes RP et NRP. Celles-ci indiquent que le seul facteur prédictif de RP dans l'intervalle de 24 mois après PLCA est le score ACL-RSI (OR 1,70 (1,14 to 2,54) ; $p = 0,010$). La probabilité

de RP n'augmente pas avec chacun des autres facteurs identifiés dans les analyses univariées (score ARS, score KOOS, IS du SH, différences bilatérales des MFM CON du Q à 60 et 240°/s, différences bilatérales des MFM des IJ à 60 (CON) et 30°/s (EXC) ; $p > 0,05$). La courbe ROC du score ACL-RSI révèle une AUC de 0,99 (0,98-1,00; $p < 0,0001$) (figure 2).

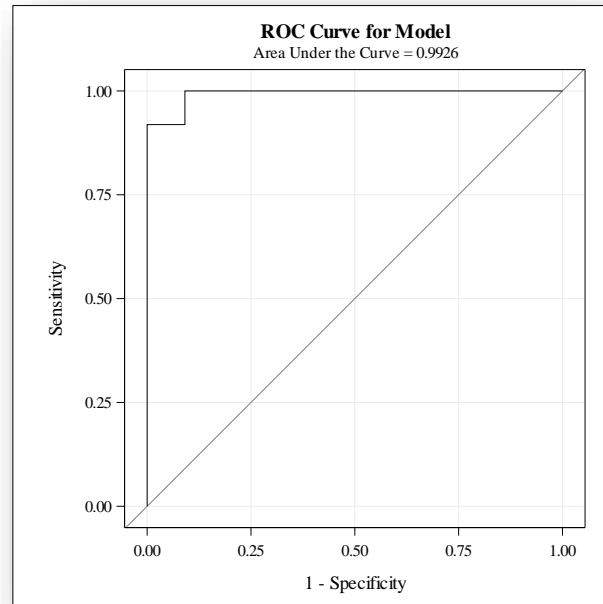


Figure 2. Courbe ROC du score ACL-RSI (AUC = 0,99 (0,98 – 1,00), $p < 0,0001$). ACL-RSI, Anterior Cruciate Ligament – Return to Sports after Injury; ROC, Receiver Operating Characteristic; AUC, Aire sous la courbe

Un indice de Youden de 65 a été retrouvé pour le score ACL-RSI, correspondant à une sensibilité maximale (1,00) ainsi qu'à une spécificité très élevée (0,92). Le tableau 3 compare ces notions de sensibilité et spécificité pour une valeur seuil de score ACL-RSI de 65.

Tableau 3. Distribution des participants (%) selon le score ACL-RSI.

	Groupe RP	Groupe NRP	p valeur
ACLRSI < 65	3 (8,1)	22 (100)	< 0,0001
ACLRSI ≥ 65	34 (91,9)	0 (0)	

RP, retour à la performance; NRP, non-retour à la performance; ACL-RSI, Anterior Cruciate Ligament – Return to Sports after Injury

4. Discussion

Cette étude a principalement démontré que, chez des sportifs amateurs opérés d'une PLCA, un retour au niveau de performance pré-lésionnel (dans un délai maximal de 2 années) est associé à des PROM's et à des critères fonctionnels mesurés 6 mois après la chirurgie. En particulier, le score ACL-RSI s'est avéré prédictif d'un RP : un score supérieur à 65 points obtenu 6 mois post PLCA indique une probabilité élevée d'un retour au niveau de performance similaire à la période d'avant la blessure.

Le taux de RP des participants à cette étude s'élevait à 63%, ce qui apparaît globalement conforme aux données de la littérature [10,30,31]. Les sportifs de niveau amateur présentent des taux de RP inférieurs comparativement aux sportifs élités qui dépassent les 80% [9], probablement en raison de différences physiques, psychologiques et sociales substantielles entre ces groupes [9,32]. Ardern et al. [33] ont en effet bien mis en évidence que les déterminants d'un RP devaient idéalement être individualisés en fonction des objectifs du patient. Après une PLCA, certains sportifs souhaitent changer de discipline sportive, ou pourraient se satisfaire d'une reprise sportive à un niveau inférieur [33]. Par comparaison aux sportifs élités, les amateurs apparaissent plus susceptibles de modifier leurs priorités vis-à-vis du niveau de leur pratique sportive, surtout après une blessure traumatique aussi sévère qu'une rupture du LCA. Dès lors, il est possible que, pour les 9 participants (15% du total) qui ont abandonné leur discipline sportive suite à la PLCA et les 13 participants qui ont repris leur activité sportive à un niveau inférieur (22% du total), l'absence de RP soit plus liée à des changements de priorités vis-à-vis de la pratique sportive qu'à une récupération insuffisante. De manière intéressante, les quatre participants qui ont subi un second épisode de rupture du LCA (2 ruptures de plasties et 2 ruptures controlatérales) avaient retrouvé leur niveau de

performance antérieure entre 6 et 9 mois après la chirurgie. Ce constat semble en phase avec les conclusions de plusieurs études récentes [34–37] indiquant qu'un retour précoce à un niveau élevé de pratique d'un sport avec mouvements de sauts, pivots et changements brusques de direction représente un facteur de risque de second épisode de rupture du LCA. Grindem et al. [8] ont également démontré que, pour chaque mois de report de la reprise sportive complète (à partir de 6 mois post PLCA), le risque de récurrence en est réduit de moitié. Retarder la reprise sportive complète jusqu'à un minimum de 9 mois post chirurgie permettrait ainsi d'offrir plusieurs bénéfices aux patients : plus de temps pour valider des critères de reprise sportive associés avec un risque réduit de récurrence d'une part, et pour favoriser le processus de ligamentisation du greffon d'autre part.

La répétition régulière d'évaluations durant la rééducation devrait être considérée comme une succession d'étapes jalonnant le processus de retour sur terrain [2]. Le délai de 6 mois post PLCA ne peut pas être systématiquement considéré comme le point final de la rééducation, mais ce délai peut s'avérer approprié pour autoriser une reprise sportive complète si des critères objectifs sont validés [18]. Cependant, il n'existe pas de consensus précis sur les critères les plus pertinents à utiliser pour déterminer l'aptitude d'un sportif à reprendre son activité sans restriction [2]. La batterie de tests de cette étude a été établie afin d'englober un large spectre de facteurs de risque d'un second épisode de rupture du LCA et d'éléments essentiels à la performance sportive, comme recommandé par de nombreux auteurs [2,4,11,29,38]. Bien que nous n'ayons pas trouvé de lien entre RP et certaines variables (amplitudes maximales de flexion ou extension de genou, YBT, données anthropométriques), une association positive entre RP et un ensemble de variables (PROM's, hop test, données isocinétiques) a été démontrée dans cette étude. Parmi ces dernières, le score ACL-RSI – le seul questionnaire développé spécifiquement pour évaluer la disposition psychologique à reprendre le sport après PLCA [15] – a été identifié comme prédictif de RP dans un délai maximal de deux années après la chirurgie. Ces résultats apparaissent globalement similaires à ceux retrouvés dans de précédentes études. Müller et al. [18] ont en effet rapporté que le score ACL-RSI, mesuré 6 mois après PLCA, représentait le meilleur facteur prédictif de reprise sportive un mois plus tard. Cependant, la valeur-seuil du score ACL-RSI de cette étude était de 51 points, tandis qu'elle s'élevait à 65 points dans notre étude. Dans une autre étude, Ardern et al. [39] ont également démontré l'importance du score ACL-RSI, et la valeur-seuil se trouvait à 56, mais l'évaluation

de ce score était réalisée 4 mois post PLCA. Or, la période de rééducation comprise entre 4 et 6 mois après chirurgie étant généralement consacrée à développer progressivement l'aptitude à courir, sauter et réaliser des changements rapides de direction, il semble raisonnable de s'attendre à des améliorations significatives de la disposition psychologique à reprendre le sport 6 mois après la plastie. Nous émettons donc l'hypothèse que, si les évaluations de Ardern et al. [39] avaient été réalisées 6 mois après la chirurgie, les scores ACL-RSI ne différeraient pas largement de ceux de notre étude.

Il est intéressant de constater que, bien que le ressenti psychologique (craintes et appréhensions importantes vis-à-vis de la pratique sportive) présente une association forte avec le RP [18,31,39], nous ne savons pas si la survenue d'une récurrence de rupture du LCA est associée à une faible disposition psychologique à reprendre le sport, même si une étude semble abonder en ce sens [13]. À l'inverse, Webster et al. [15] ont suggéré qu'une haute disposition psychologique à reprendre le sport ne signifie pas que le sportif soit protégé d'une éventuelle récurrence : un certain degré d'appréhension pourrait même s'avérer protecteur d'un nouvel épisode lésionnel. Dès lors, l'utilisation de critères de reprise sportive après blessure dont l'objectif est de maximiser sécurité (prévention de récurrence) et performance (retour à une performance optimale) peut être questionnée [40]. Une disposition psychologique élevée – excessive ? –, en particulier durant les premières semaines après le retour sur terrain, pourrait exposer le sportif à un risque majoré de récurrence, malgré le fait que ce facteur soit positif pour un RP. Dans cette étude, il est intéressant de noter que les quatre participants qui ont subi une nouvelle rupture présentaient, à 6 mois post PLCA, des scores particulièrement élevés au questionnaire ACL-RSI (83 ± 6 points) comparativement à l'ensemble de la cohorte (66 ± 15 points). Ainsi, malgré le faible nombre de nouvelles lésions du LCA parmi la population étudiée, les résultats de cette étude tendent à étayer le fait qu'une haute disposition psychologique à reprendre le sport pourrait ne pas représenter un facteur exclusivement positif pour un retour sur terrain sécurisé. Dès lors, nous devons rester prudents quant aux conclusions de cette recherche.

Malgré leur pauvre capacité à prédire un RP, nous suggérons de continuer à inclure une évaluation de force musculaire, de mobilité de genou, d'équilibre et de tests fonctionnels dans une batterie de tests à 6 mois post PLCA. En effet, pour une majorité de patients opérés, le retour sur terrain ne surviendra pas à 6 mois après la chirurgie, mais plus tard [4]. Proposer une

large batterie de tests à ce moment de la rééducation permet d'identifier de potentiels déficits dans un ou plusieurs domaines de facteurs de risque. Dès lors, un programme individualisé destiné à corriger des déficits spécifiques mis en évidence lors de cette batterie de tests de 6 mois post PLCA, offre au patient une période propice à la validation des critères de reprise sportive quelques semaines plus tard.

Cette étude doit être considérée au regard de certaines limitations. Premièrement, le nombre de participants apparaît relativement limité ($n=59$). Deuxièmement, étant donné que cette étude incluait exclusivement des patients opérés d'une plastie de type DIDT, les résultats ne peuvent être généralisés aux patients opérés avec d'autres types de plastie (ligament patellaire par exemple) ou présentant des lésions associées. Enfin, en l'absence de patients de niveau sportif III ou IV, il semble peu pertinent d'extrapoler nos résultats à des patients présentant de tels niveaux sportifs.

5. Conclusion

Le retour à la performance dans un délai de deux années après plastie de reconstruction du LCA est associé aux résultats d'auto-questionnaires déclarés par le patient et d'évaluations fonctionnelles réalisées à 6 mois post chirurgie. La disposition psychologique à reprendre le sport (faibles appréhensions/craintes et confiance élevée à l'idée de reprendre le sport), évaluée via le questionnaire ACL-RSI, représente le meilleur facteur prédictif de retour à la performance : les patients avec un score ACL-RSI supérieur à 65 points présentent une probabilité élevée de retrouver leur niveau sportif d'avant blessure. Cependant, de futures recherches sont nécessaires afin d'identifier précisément le rôle des facteurs psychologiques dans le risque de récurrence.

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement l'ensemble des participants à cette étude, ainsi que le Département de Chirurgie Orthopédique du Centre Hospitalier Universitaire de Liège et le Docteur Jean-Pierre Delcour pour son aide au recrutement.

Références

1. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med*. 2016 Aug;50(15):946–51.
2. Dingenen B, Gokeler A. Optimization of the return-to-sport paradigm after anterior cruciate ligament reconstruction: a critical step back to move forward. *Sports Med*. 2017 Aug;47(8):1487–500.
3. Losciale JM, Zdeb RM, Ledbetter L, Reiman MP, Sell TC. The association between passing return-to-sport criteria and second anterior cruciate ligament injury risk: a systematic review with meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2019 Feb;49(2):43–54.
4. Burgi CR, Peters S, Ardern CL, Magill JR, Gomez CD, Sylvain J, et al. Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. *Br J Sports Med*. 2019 Sep;53(18):1154–61.
5. Webster KE, Hewett TE. What is the evidence for and validity of return-to-sport testing after anterior cruciate ligament reconstruction surgery? a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2019 Jun;49(6):917–29.
6. Capin JJ, Snyder-Mackler L, Risberg MA, Grindem H. Keep calm and carry on testing: a substantive reanalysis and critique of 'What is the evidence for and validity of return-to-sport testing after anterior cruciate ligament reconstruction surgery? A systematic review and meta-analysis'. *Br J Sports Med*. 2019 Dec;53(23):1444–6.
7. Graziano J, Chiaia T, de Mille P, Nawabi DH, Green DW, Cordasco FA. Return to sport for skeletally immature athletes after ACL reconstruction: preventing a second injury using a quality of movement assessment and quantitative measures to address modifiable risk factors. *Orthop J Sports Med*. 2017 Apr;5(4):2325967117700599.
8. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med*. 2016 Jul;50(13):804–8.
9. Lai CCH, Ardern CL, Feller JA, Webster KE. Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. *Br J Sports Med*. 2018 Jan;52(2):128–38.
10. Nawasreh Z, Logerstedt D, Cummer K, Axe M, Risberg MA, Snyder-Mackler L. Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in the same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery. *Br J Sports Med*. 2018 Mar;52(6):375.
11. van Melick N, van Cingel REH, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med*. 2016 Dec;50(24):1506–15.
12. Padua DA, DiStefano LJ, Beutler AI, de la Motte SJ, DiStefano MJ, Marshall SW. The Landing Error Scoring System as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *J Athl Train*. 2015 Jun;50(6):589–95.
13. McPherson AL, Feller JA, Hewett TE, Webster KE. Psychological readiness to return to sport is associated with second anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med*. 2019 Mar;47(4):857–62.
14. Nwachukwu BU, Adjei J, Rauck RC, Chahla J, Okoroha KR, Verma NN, et al. How Much Do Psychological Factors Affect Lack of Return to Play After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Systematic Review. *Orthop J Sports Med*. 2019 May;7(5):2325967119845313.
15. Webster KE, Nagelli CV, Hewett TE, Feller JA. Factors associated with psychological readiness to return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med*. 2018 Jun;46(7):1545–50.

16. Rambaud AJM, Semay B, Samozino P, Morin J-B, Testa R, Philppot R, et al. Criteria for return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction with lower reinjury risk (CR'STAL study): protocol for a prospective observational study in France. *BMJ Open*. 2017 Jun 30;7(6):e015087.
17. Thomas AC, Villwock M, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *J Athl Train*. 2013 Oct;48(5):610–20.
18. Muller U, Kruger-Franke M, Schmidt M, Rosemeyer B. Predictive parameters for return to pre-injury level of sport 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015 Dec;23(12):3623–31.
19. Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*. 2011 Jun;39(6):1226–32.
20. Marx RG, Stump TJ, Jones EC, Wickiewicz TL, Warren RF. Development and evaluation of an activity rating scale for disorders of the knee. *Am J Sports Med*. 2001 Apr;29(2):213–8.
21. Roos EM, Roos HP, Lohmander LS, Ekdahl C, Beynnon BD. Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998 Aug;28(2):88–96.
22. Ornetti P, Parratte S, Gossec L, Tavernier C, Argenson J-N, Roos EM, et al. Cross-cultural adaptation and validation of the French version of the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) in knee osteoarthritis patients. *Osteoarthritis Cartilage*. 2008 Apr;16(4):423–8.
23. Webster KE, Feller JA, Lambros C. Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Phys Ther Sport*. 2008 Feb;9(1):9–15.
24. Bohu Y, Klouche S, Lefevre N, Webster K, Herman S. Translation, cross-cultural adaptation and validation of the French version of the Anterior Cruciate Ligament-Return to Sport after Injury (ACL-RSI) scale. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015 Apr;23(4):1192–6.
25. Plisky PJ, Gorman PP, Butler RJ, Kiesel KB, Underwood FB, Elkins B. The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *N Am J Sports Phys Ther*. 2009 May;4(2):92–9.
26. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WEJ, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: the JUMP-ACL study. *Am J Sports Med*. 2009 Oct;37(10):1996–2002.
27. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*. 2008 Aug;36(8):1469–75.
28. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med*. 1991 Oct;19(5):513–8.
29. Arden CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *Br J Sports Med*. 2016 Jul;50(14):853–64.
30. Arden CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med*. 2014 Nov;48(21):1543–52.
31. Langford JL, Webster KE, Feller JA. A prospective longitudinal study to assess psychological changes following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Br J Sports Med*. 2009 May;43(5):377–81.
32. Lorenz DS, Reiman MP, Lehecka BJ, Naylor A. What performance characteristics determine elite versus nonelite athletes in the same sport? *Sports Health*. 2013 Nov;5(6):542–7.
33. Arden CL. Anterior cruciate ligament reconstruction-not exactly a one-way ticket back to the preinjury level: a review of contextual factors affecting return to sport after surgery. *Sports Health*. 2015 May;7(3):224–30.
34. Borchers JR, Pedroza A, Kaeding C. Activity level and graft type as risk factors for anterior cruciate ligament graft failure: a case-control study. *Am J Sports Med*. 2009 Dec;37(12):2362–7.

35. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, Huston LJ, Spindler KP. Risk factors and predictors of subsequent acl injury in either knee after ACL Reconstruction: prospective analysis of 2488 primary ACL reconstructions from the MOON Cohort. *Am J Sports Med.* 2015 Jul;43(7):1583–90.
36. Maletis GB, Inacio MCS, Funahashi TT. Risk factors associated with revision and contralateral anterior cruciate ligament reconstructions in the Kaiser Permanente ACLR registry. *Am J Sports Med.* 2015 Mar;43(3):641–7.
37. Schilaty ND, Bates NA, Sanders TL, Krych AJ, Stuart MJ, Hewett TE. Incidence of second anterior cruciate ligament tears (1990-2000) and associated factors in a specific geographic locale. *Am J Sports Med.* 2017 Jun;45(7):1567–73.
38. Gokeler A, Welling W, Zaffagnini S, Seil R, Padua D. Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Jan;25(1):192–9.
39. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE. Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med.* 2013 Jul;41(7):1549–58.
40. Feller JA, Webster KE. Where are we with return-to-sport testing following ACL reconstruction? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2019 Oct;105(6):1037–8.

Chapitre III

Analyse critique d'évaluations de pré-saison chez le sportif élite

Étude 6

Profil en pré-saison de performances anaérobies
chez le footballeur élite :
comparaison de données isocinétiques et fonctionnelles

Etude 6

Profil en pré-saison de performances anaérobies chez le footballeur élite: comparaison de données isocinétiques et fonctionnelles

François Delvaux^{1,2}, Cédric Schwartz^{1,2}, Carlos Rodriguez¹, Bénédicte Forthomme^{1,2},
Jean-François Kaux¹, Jean-Louis Croisier^{1,2}

¹ *Département des Sciences de la Motricité, Université de Liège, Liège, Belgique*

² *Laboratoire d'Analyse du Mouvement Humain, Université de Liège, Liège, Belgique*

Sports Biomechanics 2020 May 28 ;1-15. DOI: 10.1080/14763141.2020.1750681

"Preseason assessment of anaerobic performance in elite soccer players: comparison of isokinetic and functional tests"

Résumé

Objectifs

Explorer, en période de pré-saison parmi une population de footballeurs professionnels : 1) les corrélations entre la force développée sur dynamomètre isocinétique et les performances lors d'épreuves de sauts unilatéraux horizontaux et verticaux ; 2) l'influence d'une blessure antérieure sur le profil isocinétique et sur les performances fonctionnelles aux épreuves de sauts unilatéraux.

Matériels et Méthodes

Trente-huit footballeurs professionnels ont été testés avant le début de saison selon plusieurs épreuves: évaluation isocinétique en modes concentrique (CON ; 60 et 240°/s) pour ischio-jambiers (IJ) et quadriceps (Q) et excentrique (EXC) pour IJ à 30°/s ; hop tests (single hop, triple hop et triple crossover hop) ; sauts verticaux en unipodal (counter movement jump, drop jump).

Résultats

Aucune corrélation n'a été observée entre les données isocinétiques et celles de sauts. Cependant, les joueurs présentant une faible qualité de force relative (QFR) du Q ($<2,71\text{N.m/kg}$) ont, pour une majorité des variables de sauts, réalisé des performances de sauts inférieures comparativement aux joueurs à QFR élevée ($>3,14\text{N.m/kg}$; $p<0,05$). Les plus grandes différences bilatérales (DB) entre côté blessé antérieurement et côté sain ont été mises en évidence grâce aux dynamomètre isocinétique (DB Q CON 60°/s: 10,3%; $p<0,01$), Q CON 240°/s (DB : 9,9%; $p<0,05$), IJ EXC 30°/s (DB : 16,1%; $p<0,001$), par comparaison aux épreuves de sauts où peu d'asymétries ont été retrouvées (DB : 2 à 9%; $p>0,05$).

Conclusion

Une faible qualité de force relative du quadriceps semble impacter négativement les performances de sauts unilatéraux. Par ailleurs, parmi les sujets avec antécédent de blessure, l'isocinétisme s'est avéré plus discriminant que les tests de sauts pour détecter des asymétries de performances entre le côté blessé antérieurement et le côté sain.

Mots-clés

Force musculaire ; Hop tests ; Tests de sauts ; Football élite.

1. Introduction

La performance en football est fortement influencée par les qualités tactiques, techniques, mentales et physiques de chaque joueur composant une équipe. Au cours des dernières années, les exigences physiques du football au niveau élite ont augmenté et les actions à très haute vitesse de gestuelle comme les sauts, accélérations, décélérations et shoots conditionnent de manière majeure les actions décisives lors d'un match [1]. Dès lors, il apparaît essentiel que les qualités anaérobiques (essentiellement alactiques : force, vitesse, puissance, capacité d'accélération et explosivité) du footballeur soient optimales. Dans ce contexte, l'évaluation de pré-saison de ces qualités anaérobies alactiques a pour principal intérêt d'établir un profil individualisé pour chaque athlète. Un programme individualisé, sur base des éventuelles faiblesses musculaires ou fonctionnelles identifiées, peut ainsi être mis en place, ce qui devrait permettre d'améliorer les performances physiques, mais aussi de réduire le risque lésionnel [2].

Dans le football professionnel, le dynamomètre isocinétique est fréquemment utilisé pour évaluer la force des muscles de la cuisse. Un certain nombre d'études ont en effet identifié un lien entre les performances isocinétiques et la vitesse de sprint, qui peut être considéré comme un marqueur important de performance en football [3-6]. De plus, malgré certaines études conflictuelles [7,8] ou des considérations méthodologiques sur la pertinence de certaines valeurs limites à utiliser en pratique clinique [9-11], la littérature nous renseigne qu'un déséquilibre musculaire pourrait être associé à un risque accru de lésion musculaire de la cuisse [2,12], type de lésion le plus fréquent en football [13]. De manière intéressante, Opar et Serpell [14] ont également pointé une possible association entre une faiblesse musculaire des ischio-jambiers (IJ) et un risque majoré de rupture du ligament croisé antérieur (LCA). Cependant, l'isocinétisme reste une évaluation analytique de laboratoire, et, de par sa nature, ne reflète pas l'aspect fonctionnel d'un mouvement spécifique au football [15]. En conséquence, certains spécialistes recommandent d'utiliser plutôt des tests plus fonctionnels comme les sauts horizontaux (hop tests) ou verticaux [16,17]. Les hop tests ne requièrent qu'un équipement minimal et très peu de temps de passation. Ils évaluent différentes qualités telles que la force musculaire, la coordination neuromusculaire, et les qualités d'équilibre du membre inférieur dans sa globalité [18-20]. Initialement développés pour l'évaluation post-chirurgicale de

patients après reconstruction du LCA [19], les hop tests peuvent être utilisés pour détecter des asymétries ou faiblesses globales des membres inférieurs avec une bonne voire excellente validité [21]. Les tests de sauts verticaux comme le countermovement jump (CMJ) ou le drop jump (DJ) sont également régulièrement utilisés comme tests fonctionnels [17,22], mais nécessitent généralement un équipement spécifique. Cet équipement peut être variable (plateformes de force, applications sur smartphones, ...) et peuvent permettre d'obtenir différents types de données : hauteur de saut, durée d'envol, force de réaction sur le sol lors de l'impulsion ou de la réception, etc. Plusieurs études récentes ont trouvé des corrélations significatives entre les paramètres relevés lors de sauts horizontaux ou verticaux et la vitesse de sprint [15,17,23-25], ce qui peut justifier l'intégration d'épreuves de sauts dans une batterie de tests de pré-saison chez le footballeur [24].

Des éventuelles corrélations entre les performances isocinétiques et les performances aux sauts verticaux ont également été étudiées, avec des résultats globalement mitigés [26-29]. De plus, la majorité de ces études n'ont exprimé les données isocinétiques qu'en termes de moments de force maximale (MFM) absolus (en N.m), alors que l'utilisation de valeurs normalisées par rapport au poids (en N.m/kg) peut être considérée comme un facteur important de la performance de saut.

Certaines questions restent également peu claires : par exemple, l'influence de blessures antérieures sévères ou d'un faible/haut ratio IJ/Quadriceps sur la performance en saut (horizontal ou vertical) n'a que très peu été investiguée. Enfin, parmi les études sur le sujet [15,26-29], à l'exception de celle de Lehanche et al. [15], des athlètes de différentes disciplines sportives composaient la population étudiée, ce qui ne reflète pas spécifiquement le football élite.

L'objectif premier de cette étude était d'explorer, parmi une population de footballeurs professionnels, les relations entre la force développée sur dynamomètre isocinétique et les performances lors d'épreuves de sauts horizontaux et verticaux. Deuxièmement, nous avons examiné l'influence d'une blessure antérieure sur le profil isocinétique ainsi que sur les performances fonctionnelles aux épreuves de sauts unilatéraux. Nous émettons l'hypothèse que 1) les performances isocinétiques et fonctionnelles sont corrélées ; 2) les sujets avec antécédent(s) de blessure présentent, tant aux épreuves de force qu'aux épreuves de sauts, des déficits en défaveur du membre précédemment blessé.

2. Matériel et méthodes

2.1. Participants

Quarante footballeurs issus d'un club professionnel de première division belge (âge : 24 ± 6 ans; taille : 183 ± 8 cm; masse : 77 ± 7 kg) ont été inclus dans cette recherche. Au moment des évaluations, deux joueurs étaient blessés (une lésion musculaire des IJ et une entorse de cheville) et ont donc été exclus de l'étude. Parmi les 38 participants restant, aucun joueur n'était blessé ou ne relatait de douleurs particulières avant de démarrer les tests. Une part non négligeable des participants (42% - 16 joueurs) a déjà subi une blessure sévère antérieure, contre 22 joueurs (58% du groupe) sans antécédent de blessure sévère. Selon Ekstrand et al. [30], une blessure sévère est définie comme une blessure entraînant un arrêt compétitif de minimum 4 semaines. Au total, 19 blessures sévères antérieures ont été repertoriées (13 joueurs ont rapporté un antécédent de blessure, 3 joueurs ont rapporté 2 antécédents de blessures) : 37% de ces blessures étaient localisées au genou (43% au LCA, 43% au ligament collatéral médial, 14% au ménisque interne), et 37% à la cuisse (57% aux IJ, 29% aux adducteurs, 14% au droit fémoral). Le restant des blessures était composé d'entorses de cheville (11% du total) de conflit fémoro-acétabulaire (5%), de rupture du tendon d'Achille (5%) et de fracture du pied (5%). L'ensemble de ces blessures était survenu dans une période comprise entre 3 mois et 7 ans avant le début des tests, et au moment des évaluations, tous les joueurs étaient considérés par le staff médical comme aptes à pratiquer le football en compétition.

2.2. Méthodologie

Les évaluations se sont déroulées sur deux journées, séparées de minimum 2 jours et maximum 4 jours, durant la période préparatoire à la saison compétitive.

Lors de la première journée de tests, une évaluation isocinétique, identique à celle décrite précédemment par Croisier et al. [2], était réalisée sur Cybex Humac Norm® (CSMI, Stoughton, MA, USA) pour évaluer les performances musculaires du quadriceps (Q) et des IJ. Un échauffement standardisé précédait l'évaluation isocinétique et consistait à pédaler sur une bicyclette ergométrique (75-100W) durant 6 minutes ; 20 secondes d'étirements statiques par groupe musculaire (IJ et Q) étaient alors réalisés. Le participant était assis sur le siège du

dynamomètre (105° de flexion de hanche) avec des sangles attachées au niveau de la cuisse et du tronc pour éviter d'éventuelles compensations. L'amplitude de mouvement était fixée à 100° à partir de l'extension maximale de genou. Une familiarisation au dynamomètre était systématiquement effectuée à 120°/s : 10 répétitions sous-maximales suivies de 6 répétitions progressivement intensifiées jusqu'à la performance maximale. De plus, avant chaque épreuve, trois répétitions à la vitesse du test étaient imposées. Aucun feedback visuel n'était donné durant le test, mais le participant recevait des encouragements verbaux de la part de l'expérimentateur. Le protocole d'évaluation comprenait : 3 essais à 60°/s et 5 essais à 240°/s en mode concentrique (CON) pour les IJ et le Q. Pour clôturer le test, les IJ étaient également évalués en mode excentrique (EXC) à une vitesse angulaire de 30°/s (3 essais). Entre ces séries, un intervalle de repos d'une minute était imposé. Les paramètres analysés étaient les moments de force maximale (MFM ; en N.m et en N.m/kg). Un ratio conventionnel IJ/Q était établi pour chaque vitesse angulaire, et un ratio mixte fonctionnel associant MFM en EXC à 30°/s des IJ et MFM en CON à 240°/s du Q était également calculé [2].

Lors de la seconde journée de tests, les épreuves de sauts horizontaux et verticaux ont été réalisées, précédées d'un échauffement standardisé (bicyclette ergométrique (75 à 100W), stretching court IJ et Q, 2 séries de 20 demi-squats avec barre de 20kg). Trois types de hop tests étaient accomplis par les sujets, selon la méthodologie originale décrite par Noyes et al. [19] : *Single Hop for distance* (SH), *Triple Crossover Hop for distance* (TCH) and *Triple Hop for distance* (TH). Le SH était effectué en démarrant d'une position debout, en appui sur une jambe. Il est alors demandé au participant de sauter le plus loin possible et d'atterrir sur cette même jambe. La même position de départ est utilisée pour le TCH et le TH. Pour le TCH, le participant doit sauter le plus loin possible en enchaînant 3 sauts consécutifs de part et d'autre d'une ligne droite de 15cm d'épaisseur marquée au sol ; pour le TH, la consigne était de sauter le plus loin possible en ligne droite en enchaînant 3 sauts consécutifs. Chaque test n'était considéré comme valide qu'en cas d'atterrissage stable. Si le participant, dans un intervalle de 3 secondes après l'atterrissage, touchait le sol avec la jambe controlatérale, perdait son équilibre ou devait réaliser un nouveau saut d'équilibration, le test n'était pas validé et devait être recommencé. Pour chaque test, la distance totale sautée était mesurée à partir du talon du participant. Les résultats sont exprimés tant en valeurs absolues (en cm) qu'en valeurs relatives, c'est-à-dire normalisées par rapport à la taille du participant (distance sautée (cm) / taille (cm)). Après 2

essais d'accoutumance, les participants réalisaient 2 essais pour chaque côté en débutant par le côté dominant ou non dominant selon un ordre aléatoire. Les membres supérieurs du participant durant les épreuves de sauts restaient libres de tout mouvement.

À la suite des hop tests, les tests de sauts verticaux étaient ensuite réalisés à l'aide de 2 plateformes de force (Kistler®, Kistler Group, Switzerland). Les participants étaient invités à effectuer d'abord l'épreuve de DJ en unilatéral (DJU). Le départ s'effectuait sur un step de 22cm de hauteur, placé 10cm derrière les plateformes de force. Les consignes données étaient doubles : 1) au contact du sol, sauter avec le temps de contact le plus court possible ; 2) sauter le plus haut possible. Pour éviter d'éventuels biais, aucune autre instruction complémentaire concernant la gestuelle de saut n'était donnée. Plusieurs essais d'accoutumance étaient réalisés jusqu'à ce que le participant apparaisse familier avec la tâche (typiquement 3 à 5 répétitions). Trois essais étaient ensuite enregistrés et la meilleure performance était conservée pour analyse. Les paramètres relevés étaient la hauteur maximale de saut (cm) et la force de poussée verticale lors du premier atterrissage (N et N/kg). Les épreuves de CMJ en unilatéral (CMJU) clôturaient la seconde session de tests. Les participants démarraient en position debout, mains placées sur les hanches. La seule consigne donnée était de sauter le plus haut possible en conservant les mains aux hanches. Après 3 essais d'accoutumance, 3 sauts étaient enregistrés et seul le meilleur saut était conservé pour analyse. Les paramètres relevés étaient identiques à ceux du DJ.

2.3. Analyse statistique

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel *Statistica 10*, *StatSoft*®. La normalité des variables continues a été testée, et les données sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-type. Les différences bilatérales entre le côté dominant (CD) (jambe de shoot) et non dominant (CND) ont été calculées selon la formule : $(\text{MFM CD} - \text{MFM CND} / \text{MFM CD}) \times 100$ (%). Pour les hop tests et les sauts verticaux unilatéraux, un indice de symétrie des membres inférieurs (ISMI) a été calculé comme le quotient de la meilleure performance de la jambe impliquée divisé par la meilleure performance de la jambe controlatérale, le tout multiplié par 100 (exprimé en %). Un test *t*-Student pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer, tant pour les mesures de force que de sauts, le CD au CND, mais aussi le côté blessé antérieurement au côté sain. Le coefficient de corrélation de Pearson (*r*) a été calculé pour vérifier la présence ou l'absence de relation linéaire entre les différentes variables pour le CD uniquement. Le niveau de significativité a été établi pour $p \leq 0.05$.

3. Résultats

Les tableaux 1 et 2 développent les statistiques descriptives pour l'évaluation isocinétique, les hop tests et les sauts verticaux.

Tableau 1. Données isocinétiques: moments de force maximale absolus et relatifs, ratios ischio-jambiers/quadriceps (moyenne \pm écart-type)

		CD	CND	Différence entre CD et CND	<i>p</i> valeur	Différence entre côté fort et côté faible	<i>p</i> valeur
		N.m / N.m/kg	N.m / N.m/kg	%		%	
Quadriceps	CON 60°/s	226 \pm 39 / 2,93 \pm 0,50	225 \pm 38 / 2,92 \pm 0,49	<1	0,922	8	0,347
	CON 240°/s	153 \pm 25 / 2,00 \pm 0,32	158 \pm 25 / 2,04 \pm 0,32	-3	0,071	10	0,074
Ischio-jambiers	CON 60°/s	146 \pm 26 / 1,90 \pm 0,33	140 \pm 24 / 1,82 \pm 0,31	4	0,064	9	0,060
	CON 240°/s	97 \pm 12 / 1,26 \pm 0,16	94 \pm 15 / 1,22 \pm 0,19	3	0,139	6	0,566
	EXC 30°/s	191 \pm 39 / 2,48 \pm 0,51	186 \pm 47 / 2,42 \pm 0,61	3	0,541	14	0,031
Ratios ischio-jambiers / Quadriceps	CON 60°/s	0,56 \pm 0,11	0,59 \pm 0,09	-5	0,093	11	0,098
	CON 240°/s	0,61 \pm 0,09	0,60 \pm 0,08	2	0,685	7	0,277
	EXC 30°/s/CON 240°/s	1,26 \pm 0,25	1,21 \pm 0,25	4	0,193	12	0,044

Notes : CD, côté dominant; CND, côté non dominant; CON, concentrique; EXC, excentrique. Les valeurs en gras indiquent une différence significative ($p < 0,05$)

Tableau 2. Résultats des épreuves hop tests et sauts verticaux (moyenne \pm écart-type)

		CD	CND	ISMI entre CD et CND	<i>p</i> valeur	ISMI entre côté faible et côté fort	<i>p</i> valeur
Hop tests	SH (cm)	234 \pm 24	240 \pm 21	0,92	0,099	0,90	0,172
	SH relatif	1,28 \pm 0,14	1,31 \pm 0,11	0,93	0,327	0,91	0,419
	Triple hop (cm)	699 \pm 59	710 \pm 51	0,94	0,245	0,85	0,021
	TH relatif	3,84 \pm 0,32	3,89 \pm 0,30	0,96	0,552	0,90	0,076
	TCH (cm)	678 \pm 47	686 \pm 42	0,91	0,148	0,89	0,197
	TCH relatif	3,68 \pm 0,27	3,75 \pm 0,23	0,92	0,218	0,88	0,093
Sauts verticaux	CMJU (cm)	36,9 \pm 4,7	37,7 \pm 4,1	0,88	0,048	0,87	0,022
	CMJU (N)	1534 \pm 173	1541 \pm 167	0,87	0,029	0,85	0,013
	CMJU (N/kg)	19,6 \pm 1,9	19,8 \pm 1,9	0,92	0,320	0,93	0,432
	DJU (cm)	33,9 \pm 3,6	34,6 \pm 4,1	0,91	0,289	0,82	0,005
	DJU (N)	2505 \pm 467	2572 \pm 409	0,88	0,213	0,87	0,076
	DJU (N/kg)	32,4 \pm 5,6	32,9 \pm 6,0	0,91	0,335	0,84	0,009

Notes : CD, côté dominant; CND, côté non dominant; ISMI, indice de symétrie des membres inférieurs; SH, single hop; TH, triple hop; TCH, triple crossover hop ; CMJU, counter movement jump unilatéral; DJU, drop jump unilatéral. Les valeurs en gras indiquent une différence significative ($p < 0,05$)

Pour le CD, CMJU et DJU apparaissent modérément corrélés (r compris entre 0,597 et 0,696), CMJU et hop tests sont modérément à fortement corrélés (r compris entre 0,647 et 0,882), DJU et hop tests présentent des corrélations modérées (r compris entre 0,601 et 0,704). A l'exception du MFM Q CON à 60°/s et de la force de poussée du CMJ ($r = 0,463$), aucune corrélation entre les données isocinétiques (valeurs absolues ou relatives) et les performances aux sauts n'a été observée ($r < 0,40$). Le tableau 3 reprend la comparaison des performances aux sauts entre deux sous-groupes : un groupe dont les MFM du Q en mode CON à 60°/s (CD) sont inférieures à 2,71 N.m/kg (premier quartile) et un groupe dont les MFM à la même épreuve sont supérieures à 3,14 N.m/kg (troisième quartile).

Tableau 3. Comparaison des performances aux sauts entre le premier quartile et le troisième quartile en termes de qualité de force relative du quadriceps à 60°/s

	CMJU			DJU			HOP tests					
	cm	N	N/kg	cm	N	N/kg	SH (cm)	SH relatif	TH (cm)	TH relatif	TCH (cm)	TCH relatif
1er quartile (n=11) (<2,71N.m/kg)	33,5±3,6	1490±373	19,3±3	32,7±2,7	2179±321	29,3±5,2	224±26	1,22±0,15	658±56	3,62±0,29	652±31	3,55±0,17
3ème quartile (n=10) (>3,14N,m/kg)	39,2±3,8	1588±147	20,9±3	34,7±4,0	2857±528	35,1±5,1	255±19	1,40±0,12	729±47	3,98±0,27	702±48	3,85±0,28
p-valeur	0,008	0,268	0,193	0,080	0,001	0,013	0,008	0,029	0,006	0,005	0,007	0,024
Différence (%)	14,5	6,2	7,7	5,8	23,7	16,5	12,2	12,9	9,7	10,0	7,1	9,2

Notes : SH, single hop; TH, triple hop; TCH, triple crossover hop ; CMJU, counter movement jump unilatéral; DJU, drop jump unilatéral. Les valeurs en gras indiquent une différence significative ($p < 0,05$)

Les ratios IJ/Q ne sont pas corrélés aux performances de sauts verticaux ou horizontaux ($-0,40 > r < 0,40$ pour tous les paramètres). La comparaison entre le premier et le troisième quartile en termes de ratios (ratios IJ/Q $< 0,53$ ou $> 0,65$ (CON 60°/s), $< 0,54$ ou $> 0,68$ (CON 240°/s) et $< 1,14$ ou $> 1,39$ (EXC 30°/s / CON 240°/s), respectivement) n'a montré aucune différence à l'ensemble des performances de sauts ($p > 0,05$ pour tous les paramètres).

Parmi les participants précédemment blessés (groupe BA pour blessure antérieure), le *t* test de Student a révélé des différences significatives entre le côté blessé et le côté sain pour une majorité des paramètres isocinétiques (Q CON 60°/s (10,3%; $p=0,006$), Q CON 240°/s (9,9%; $p=0,033$) et IJ EXC 30°/s (16,1%; $p=0,008$)) (Figure 1) ainsi que pour le TCH en valeur absolue (8%, $p=0,009$), mais pas pour tous les autres paramètres de sauts ($p > 0,05$) (tableau 4). Les participants n'ayant jamais été blessés (groupe ABA, aucune blessure antérieure) n'ont présenté aucune différence significative entre les deux membres inférieurs pour l'ensemble des paramètres isocinétiques ou fonctionnels ($p > 0,05$).

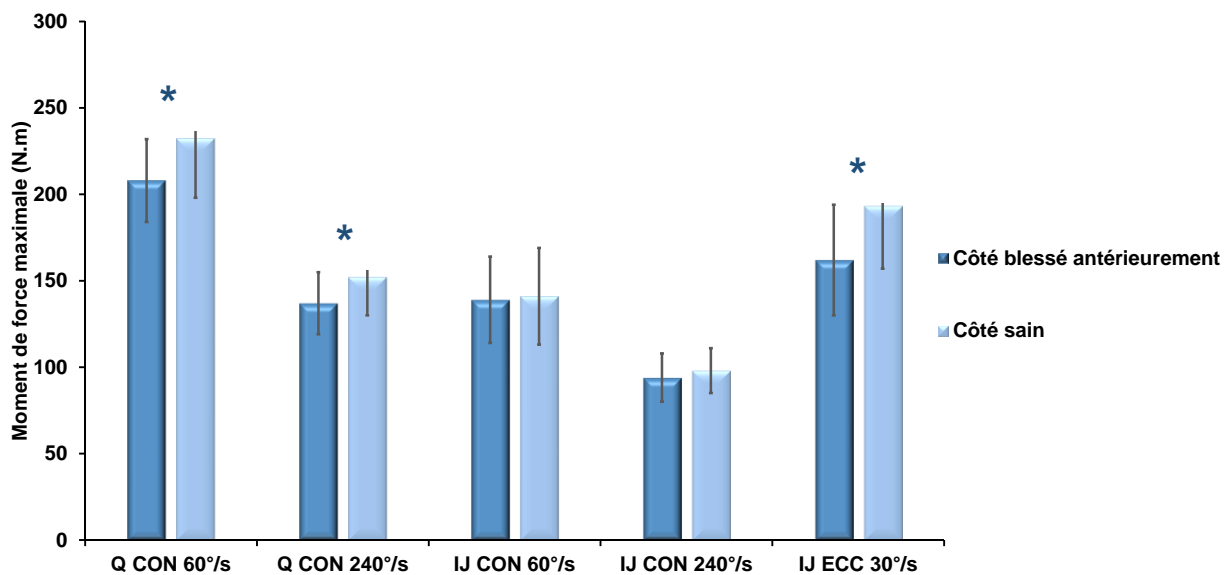


Figure 1. Comparaison des performances isocinétiques entre le côté blessé antérieurement et le côté sain (* indique une différence significative, $p < 0,05$)

Tableau 4. Comparaison des performances de sauts entre le côté blessé antérieurement et le côté sain parmi le groupe de joueurs avec antécédent de blessure sévère

	Côté blessé	Côté sain	ISMI	<i>p</i> valeur
SH (cm)	219±31	235±33	0,93	0,084
SH relatif	1,20±0,17	1,28±0,17	0,94	0,159
TH (cm)	641±48	668±52	0,96	0,107
TH relatif	3,50±0,25	3,66±0,29	0,95	0,087
TCH (cm)	611±39	664±46	0,92	0,009
TCH relatif	3,34±0,21	3,62±0,24	0,92	0,063
CMJU (cm)	34,3±4,2	37,7±4,0	0,91	0,081
CMJU (N)	1438±164	1567±171	0,92	0,063
CMJU (N/kg)	18,8±2,1	20,6±2,3	0,91	0,057
DJU (cm)	32,9±3,9	33,6±4,7	0,98	0,636
DJU (N)	2467±485	2681±497	0,92	0,272
DJU (N/kg)	31,9±5,8	34,5±6,2	0,92	0,173

Notes : ISMI, indice de symétrie des membres inférieurs; SH, single hop; TH, triple hop; TCH, triple crossover hop ; CMJU, counter movement jump unilatéral; DJU, drop jump unilatéral. Les valeurs en gras indiquent une différence significative ($p < 0,05$)

4. Discussion

Dans cette étude, nous avons tenté d'examiner les relations entre les performances réalisées aux tests isocinétiques et les performances aux tests de sauts en période de pré-saison chez des footballeurs professionnels. Nous avons également analysé l'influence d'une blessure antérieure sur les performances de force et de sauts. Étant donné l'absence de corrélation entre les variables isocinétiques et de sauts, notre première hypothèse n'a pas été validée. Notre seconde hypothèse émise, à savoir que les sujets préalablement blessés présenteraient des performances réduites du côté blessé, n'a été validée que pour les données isocinétiques et pas pour les performances de sauts. Autant pour les entraîneurs que pour le staff médical, comprendre clairement les relations entre tests analytiques et tests fonctionnels – notamment le rôle complémentaire ou redondant de ces évaluations – devrait permettre d'optimiser le choix et les paramètres de chaque méthode d'évaluation dans un objectif final de gain de performance et de prévention lésionnelle.

L'absence de corrélations entre les données isocinétiques et de sauts pourrait s'expliquer par certaines différences fondamentales entre ces méthodes : chaîne cinétique ouverte *versus* fermée, vitesse angulaire constante *versus* variable, tâche motrice analytique *versus* globale, ... En particulier, nous n'avons observé aucune corrélation forte entre la QFR quadricipitale et les performances de sauts. Plusieurs études ont rapporté que les distances aux hop tests ne semblent pas hautement corrélées aux paramètres isocinétiques [29,31,32]. Bien que le TH ait été présenté comme un bon voire très bon paramètre prédictif de la force des membres inférieurs [26,29,31], les corrélations entre celui-ci et la force isocinétique semblent tout au plus faibles à modérées [29,32].

Pour aller plus loin dans l'analyse, nous avons comparé les performances de sauts de 2 groupes distincts classés selon leur QFR du Q à 60°/s. Nous avons observé que les sujets avec faible QFR (<2,71 N.m/kg, premier quartile) présentaient des performances de sauts significativement réduites comparativement aux sujets à QFR élevée (>3,14 N.m/kg, troisième quartile). De manière intéressante, ces différences significatives n'ont pas été retrouvées si l'on considère les MFM en valeurs absolues : à l'exception du TCH, les sujets du premier quartile (<208 N.m) ne performant pas de manière significativement différente aux épreuves de sauts comparativement au troisième quartile (>242 N.m). Ainsi, en dépit de l'absence de corrélation

entre les tests isocinétiques et les tests de sauts, nous avons mis en évidence des différences significatives de performances fonctionnelles entre les extrêmes de la population étudiée en termes de QFR uniquement : les sujets présentant une QFR élevée démontraient des performances de sauts verticaux et horizontaux réduites, et inversement. Nous émettons l'hypothèse que cette faible capacité de saut pourrait être liée à une faiblesse spécifique des muscles de la cuisse, et en particulier du quadriceps. Dès lors, associer en pré-saison des tests isocinétiques avec des tests de sauts semble constituer une démarche logique. Cependant, vu le caractère plus discriminant des paramètres relatifs en isocinétisme, l'analyse des moments de force maximale normalisés par rapport à la masse de l'individu pourrait donc s'avérer plus pertinente. Évidemment, une faiblesse musculaire localisée ne représente probablement pas l'unique cause de performances de sauts réduites. D'autres facteurs comme une faible puissance, une faible coordination intra- et inter-musculaire, une pauvre gestuelle de saut, etc. peuvent également contribuer à de faibles performances de sauts.

Une autre caractéristique particulièrement intéressante de l'évaluation isocinétique est sa capacité à mettre en évidence d'éventuels déséquilibres agonistes/antagonistes, notamment IJ/Q. Classiquement, on distingue les ratios conventionnels (ratios IJ/Q en CON, à différentes vitesses angulaires) et un ratio fonctionnel, incluant une mesure de la force EXC des IJ [2,12,33-36]. De faibles ratios IJ/Q ont été associés à un risque accru de lésion musculaire des IJ [2,12], même si certaines considérations méthodologiques ont été soulevées récemment [7,10,11]. Par contre, l'influence des ratios sur la performance de sauts n'a été que très peu investiguée [2]. Dans la présente étude, aucune corrélation entre les ratios IJ/Q et les performances de sauts n'a été observée. De plus, la comparaison des extrêmes (premier *versus* troisième quartile selon les valeurs de ratios) n'a pas permis d'objectiver des différences de performances de sauts entre ces groupes. En fait, un faible ratio IJ/Q (qu'il soit conventionnel ou fonctionnel) peut s'expliquer par une faiblesse des IJ, et/ou une faiblesse quadricipitale. Parmi ces deux sous-groupes (premier et troisième quartile en termes de ratios), la QFR du quadriceps à 60°/s est comprise entre 2,21 et 3,48N.m/kg (premier quartile) et entre 2,42 et 3,22N.m/kg (troisième quartile) ; la QFR des IJ à 60°/s est quant à elle comprise entre 1,54 et 2,31N.m/kg (premier quartile) et entre 1,59 et 2,22N.m/kg (troisième quartile). Le premier quartile comprend donc des sujets avec des profils musculaires extrêmement variables (avec faiblesse des IJ ou force élevée des quadriceps, ou les deux associés), ce qui en fait un groupe particulièrement

hétérogène en termes de force musculaire. À cet égard, Bogdanis & Kalapotharakos [33] ont démontré qu'une part substantielle de la variance des ratios IJ/Q s'expliquait par la variabilité de la force du Q. En d'autres termes, les sujets avec de faibles ratios présentaient des MFM du Q élevés, mais des MFM des IJ similaires à ceux qui dont les ratios se situaient dans les normes. En conséquence, si l'on considère la grande variabilité dans la force développée par les IJ mais surtout par le Q, l'absence complète de relation entre performances de sauts et ratios IJ/Q ne semble pas surprenante.

Un aspect original de la présente étude était d'envisager l'influence d'une blessure sévère antérieure sur les performances isocinétiques et de sauts. Dans le groupe BA, nous avons observé que le côté blessé antérieurement présentait des performances systématiquement inférieures comparativement au côté sain. Les différences bilatérales les plus importantes ont été décelées via l'évaluation isocinétique, le seuil de significativité étant dépassé pour les MFM du Q à 60 et 240°/s, et pour les IJ à 30°/s en mode EXC. L'ensemble des variables mesurées lors des épreuves de sauts horizontaux et verticaux apparaît plus faible au côté blessé antérieurement, mais une différence significative avec le côté sain n'a été objectivée que pour le TCH (valeurs absolues). Dès lors, les performances de sauts peuvent être globalement considérées comme symétriques entre le côté sain et le côté anciennement blessé, alors que la majorité des performances isocinétiques ne le sont pas. Comme nous l'avons mentionné plus haut, une des différences entre un test isocinétique et un test de saut unilatéral est le nombre d'articulations et de groupes musculaires en jeu. Durant une évaluation isocinétique, des sangles autour de la cuisse et du tronc permettent d'éviter des compensations d'autres groupes musculaires que les extenseurs et fléchisseurs de genou. Il est envisageable de penser que, lors d'un saut, un athlète précédemment blessé ait pu développer des mécanismes pour compenser une faiblesse localisée, et ce potentiellement depuis le moment de survenue de la blessure. Ces mécanismes de compensation pourraient se traduire par une plus grande activation d'autres groupes musculaires ou par une coordination neuromusculaire adaptée. Au regard de ces observations et compte tenu du fait que, parmi la cohorte étudiée dans cette étude, une très large majorité des blessures était localisée au genou ou à la cuisse (74% des blessures totales), nous pensons que l'évaluation isocinétique représente la méthode la plus intéressante pour estimer la récupération musculaire après blessure. Dans ce contexte, l'utilisation de l'isocinétisme comme outil d'aide à la décision de reprise sportive après blessure

apparaît particulièrement contributive [2]. Il est en effet recommandé de baser la décision d'autoriser un athlète à reprendre son activité sportive sur une batterie de tests objectifs plutôt que sur le simple critère de délai post-traumatique [18,37,38]. L'intérêt de ces tests de retour sur terrain est de maximiser les chances d'une reprise sportive à un haut degré de performance tout en évitant la récurrence lésionnelle. Dès lors, un niveau élevé ainsi qu'une symétrie de la performance musculaire et de la performance de sauts apparaît souhaitable. À titre d'exemple, Kyritsis et al. [39] ont démontré que des athlètes qui ne remplissaient pas de critères spécifiques à certaines épreuves (incluant notamment isocinétisme, SH, TH, TCH) après plastie du LCA présentaient un risque de récurrence multiplié par 4 comparativement aux athlètes ayant validé ces mêmes critères.

Les résultats de cette étude doivent être considérés au regard de certaines limitations. En premier lieu, le nombre de participants inclus était relativement limité. Deuxièmement, nous n'avons pas réalisé de suivi de blessures durant la saison suivant les évaluations. Ce suivi aurait pu nous permettre d'explorer d'éventuelles associations entre les performances observées en pré-saison et la survenue de blessures. Cependant, il est généralement requis un minimum de 30 blessures pour pouvoir détecter de potentielles associations entre les variables mesurées et la survenue de blessures. Avec une cohorte de 38 joueurs, ce nombre n'aurait probablement pas été atteint. Enfin, il est à noter que les participants ne présentaient pas d'asymétries bilatérales entre le CD et le CND. D'un point de vue statistique, le seuil de significativité a parfois été dépassé pour certains paramètres, mais ces asymétries moyennes de 3.2% entre CD et CND ne peuvent être considérées comme cliniquement significatives. En conséquence de cette absence d'asymétries bilatérales parmi notre population, il n'a pas été possible de déterminer quelle méthode d'évaluation (isocinétisme ou sauts) était la plus adéquate pour détecter des asymétries de performances. Les faibles différences bilatérales observées dans notre échantillon apparaissent d'ailleurs légèrement inférieures à celles retrouvées dans d'autres études semblables [40,41]. Dans des travaux non publiés sur une population d'athlètes blessés aux LJ, nous avons observé des asymétries supérieures à l'évaluation isocinétique par rapport à des épreuves de sauts verticaux. À l'opposé, Menzel et al. [41] ont démontré que des différences bilatérales de performances lors de sauts verticaux pouvaient persister malgré la normalisation du profil isocinétique. En dépit de résultats contradictoires entre l'étude de Menzel [41] et la nôtre, la combinaison d'une évaluation isocinétique et de tests fonctionnels

semble représenter la meilleure option pour détecter d'éventuelles asymétries de performances.

5. Conclusion

Les résultats les plus importants de cette étude, réalisée parmi une population de footballeurs élites, sont les suivants : 1) les évaluations isocinétiques et de sauts n'apparaissent pas corrélées ; 2) malgré cette absence de corrélation, les sujets avec une faible qualité de force relative du quadriceps ont montré des performances de sauts significativement inférieures par comparaison avec les sujets présentant une qualité de force relative élevée ; 3) les ratios ischio-jambiers/quadriceps ne sont pas corrélés avec les performances de sauts ; 4) l'isocinétisme s'est avéré plus discriminant que les tests de sauts pour détecter des différences de performances entre le côté blessé antérieurement et le côté sain. Selon ces résultats, il semble approprié d'associer des tests isocinétiques et des tests fonctionnels de sauts en période de pré-saison chez des footballeurs professionnels. Enfin, il apparaît également utile de normaliser les valeurs de moments de force maximale déterminées en isocinétisme par rapport au poids de l'individu.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement Mme Annie Depaifve pour son aide efficace à la rédaction ; Kenny Brisy pour son aide aux expérimentations. Nous exprimons enfin toute notre gratitude au joueurs et staff médical du *Standard de Liège* pour leur participation enthousiaste à cette étude.

Références

1. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci.* 2006 Jul;24(7):665–74.
2. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2008 Aug;36(8):1469–75.
3. Newman MA, Tarpenning KM, Marino FE. Relationships between isokinetic knee strength, single-sprint performance, and repeated-sprint ability in football players. *J Strength Con Res.* 2004 Nov;18(4):867–72.
4. Paul DJ, Nassis GP. Testing strength and power in soccer players: the application of conventional and traditional methods of assessment. *J Strength Cond Res.* 2015 Jun;29(6):1748–58.
5. Cotte T, Chatard JC. Isokinetic strength and sprint times in English Premier League football players. *Biol Sport.* 2011;28(2):89–94.
6. Dowson MN, Nevill ME, Lakomy HK, Nevill AM, Hazeldine RJ. Modelling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *J Sports Sci.* 1998 Apr;16(3):257–65.
7. van Dyk N, Bahr R, Whiteley R, Tol JL, Kumar BD, Hamilton B, et al. Hamstring and quadriceps isokinetic strength deficits are weak risk factors for hamstring strain injuries: a 4-year cohort study. *Am J Sports Med.* 2016 Jul;44(7):1789–95.
8. Zvijac JE, Toriscelli TA, Merrick S, Kiebzak GM. Isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength variables from the NFL Scouting Combine are not predictive of hamstring injury in first-year professional football players. *Am J Sports Med.* 2013 Jul;41(7):1511–8.
9. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A. Cutoffs of isokinetic strength ratio and hamstring strain prediction in professional soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2018 Jan;28(1):276–81.
10. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A. Hamstring muscle injury prediction by isokinetic ratios depends on the method used. *Clin J Sport Med.* 2020 Jan;30(1):40–5.
11. Grygorowicz M, Michałowska M, Walczak T, Owen A, Grabski JK, Pyda A, et al. Discussion about different cut-off values of conventional hamstring-to-quadriceps ratio used in hamstring injury prediction among professional male football players. *PLoS One.* 2017;12(12):e0188974.
12. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Ferreol S, Dubois C. Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2016 Mar;6(1):116–23.
13. Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med.* 2016 Jun;50(12):731–7.
14. Opar DA, Serpell BG. Is there a potential relationship between prior hamstring strain injury and increased risk for future anterior cruciate ligament injury? *Arch Phys Med Rehabil.* 2014 Feb;95(2):401–5.
15. Lehance C, Binet J, Bury T, Croisier JL. Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2009 Apr;19(2):243–51.
16. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med.* 2001 Jan;22(1):45–51.
17. Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2004 Jun;38(3):285–8.
18. Barber SD, Noyes FR, Mangine RE, McCloskey JW, Hartman W. Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. *Clin Orthop Relat Res.* 1990 Jun;255:204–14.
19. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med.* 1991 Oct;19(5):513–8.

20. Barber-Westin SD, Noyes FR. Objective criteria for return to athletics after anterior cruciate ligament reconstruction and subsequent reinjury rates: a systematic review. *Phys Sportsmed*. 2011 Sep;39(3):100–10.
21. Ross MD, Langford B, Whelan PJ. Test-retest reliability of 4 single-leg horizontal hop tests. *J Strength Cond Res*. 2002 Nov;16(4):617–22.
22. Schwartz C, Forthomme B, Paulus J, Kaux J-F, Bruls O, Denoel V, et al. Reliability of unipodal and bipodal counter movement jump landings in a recreational male population. *Eur J Sport Sci*. 2017 Oct;17(9):1143–52.
23. Dobbs CW, Gill ND, Smart DJ, McGuigan MR. Relationship between vertical and horizontal jump variables and muscular performance in athletes. *J Strength Cond Res*. 2015 Mar;29(3):661–71.
24. Loturco I, Pereira LA, Cal Abad CC, D'Angelo RA, Fernandes V, Kitamura K, et al. Vertical and horizontal jump tests are strongly associated with competitive performance in 100-m dash events. *J Strength Cond Res*. 2015 Jul;29(7):1966–71.
25. Lockie RG, Callaghan SJ, Berry SP, Cooke ERA, Jordan CA, Luczo TM, et al. Relationship between unilateral jumping ability and asymmetry on multidirectional speed in team-sport athletes. *J Strength Cond Res*. 2014 Dec;28(12):3557–66.
26. Hamilton RT, Shultz SJ, Schmitz RJ, Perrin DH. Triple-hop distance as a valid predictor of lower limb strength and power. *J Athl Train*. 2008 Jun;43(2):144–51.
27. Jones PA, Bampouras TM. A comparison of isokinetic and functional methods of assessing bilateral strength imbalance. *J Strength Cond Res*. 2010 Jun;24(6):1553–8.
28. Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H. Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001 Sep;41(3):354–61.
29. Petschnig R, Baron R, Albrecht M. The relationship between isokinetic quadriceps strength test and hop tests for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998 Jul;28(1):23–31.
30. Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*. 2011 Jun;39(6):1226–32.
31. Greenberger HB, Paterno MV. Relationship of knee extensor strength and hopping test performance in the assessment of lower extremity function. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1995 Nov;22(5):202–6.
32. Ostenberg A, Roos E, Ekdahl C, Roos H. Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. *Scand J Med Sci Sports*. 1998 Oct;8:257–64.
33. Bogdanis GC, Kalapotharakos VI. Knee extension strength and hamstrings-to-quadriceps imbalances in elite soccer players. *Int J Sports Med*. 2016 Feb;37(2):119–24.
34. Coratella G, Bellin G, Beato M, Schena F. Fatigue affects peak joint torque angle in hamstrings but not in quadriceps. *J Sports Sci*. 2015;33(12):1276–82.
35. Croisier J-L, Forthomme B, Namurois M-H, Vanderthommen M, Crielaard J-M. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med*. 2002 Apr;30(2):199–203.
36. Ruas CV, Minozzo F, Pinto MD, Brown LE, Pinto RS. Lower-extremity strength ratios of professional soccer players according to field position. *J Strength Cond Res*. 2015 May;29(5):1220–6.
37. Kvist J. Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. *Sports Med*. 2004;34(4):269–80.
38. Thomee R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D, et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011 Nov;19(11):1798–805.
39. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med*. 2016 Aug;50(15):946–51.
40. Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, Marcora SM. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2007 Nov;39(11):2044–50.

41. Menzel H-J, Chagas MH, Szmuchrowski LA, Araujo SRS, de Andrade AGP, de Jesus-Moraleida FR. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. J Strength Cond Res. 2013 May;27(5):1370–7.

DISCUSSION GENERALE

L'objectif global de ce travail consistait à contribuer à apporter des éléments de réponses aux problématiques spécifiques de la prévention de lésions ligamentaires et musculaires du membre inférieur, en particulier la rupture du LCA et la LIJ. Plusieurs constats objectifs ont guidé notre démarche : l'incidence lésionnelle et la sévérité de ces blessures restent élevées [1–3] et ne diminuent pas [4,5] ; le risque de récurrence apparaît toujours important [6–8] ; les conséquences sportives, financières et en termes de santé pour l'athlète peuvent s'avérer significatives [9–13]. Ainsi, malgré un véritable essor de la recherche sur le sujet, les stratégies de prévention de blessures ne semblent donc pas encore proposer, à l'heure actuelle, une efficacité satisfaisante. Une des originalités de notre approche consistait à observer ce qui était réellement mis en place dans le quotidien des sportifs pour prévenir les blessures, en analysant d'éventuelles divergences entre les recommandations scientifiques et la réalité de terrain.

Il nous paraît utile de souligner les résultats essentiels des différentes études décrites précédemment dans ce manuscrit. En synthèse :

a) Les démarches suivies par les médecins de clubs professionnels de football

lorsqu'ils décident, en pratique quotidienne, d'autoriser le retour compétitif après PLCA ou d'une LIJ chez un footballeur ont été analysées (**études 1 et 2**). Les 37 médecins interrogés ont déclaré se baser sur des critères afin d'évaluer la capacité d'un footballeur à reprendre la compétition après blessure. Un nombre élevé de critères semble être pris en compte, témoignant d'une réflexion pertinente en termes de risque de récurrence. Cependant, pour une majorité de ces critères, nous avons constaté un manque de consensus sur les modalités pratiques et les paramètres d'évaluation, ainsi que sur les valeurs limites tolérées afin de garantir un retour sur terrain sécurisé. Dès lors, une meilleure prise en considération des paramètres d'évaluation et des valeurs limites proposés par la littérature scientifique devrait aider les praticiens dans leurs décisions d'autoriser la reprise compétitive après blessure. Par ailleurs, la prise en compte de l'avis du kinésithérapeute et du préparateur physique par une très nette majorité de médecins a également souligné l'importance d'une concertation pluridisciplinaire.

b) Nous avons également interrogé des entraîneurs de football (n=313) afin d'évaluer leurs stratégies préventives utilisées au quotidien sur le terrain (étude 3). Une grande variabilité des connaissances, perceptions et modalités d'application de

mesures préventives a été mise en évidence parmi les coaches. Nous avons observé que plus le niveau de formation de l'entraîneur ou le niveau de jeu de l'équipe entraînée apparaît élevé, plus la démarche préventive semble structurée et complète (malgré une certaine variabilité interindividuelle). Près de la moitié des entraîneurs (48%) ne connaît pas les programmes *FIFA 11+ for injury prevention* et une large majorité (77%) estime ne pas être suffisamment formée à la prévention lésionnelle. Au total, les recommandations d'applications concrètes sur le terrain de programmes préventifs à l'efficacité démontrée ne sont mises en place au quotidien que par une minorité d'entraîneurs. Ainsi, les mesures de prévention lésionnelle n'apparaissent pas appliquées de manière suffisante sur les terrains de football belges et cette étude permet de proposer des axes d'améliorations de stratégies préventives.

- c) Un **essai randomisé contrôlé** sur 27 **sportifs amateurs sains (étude 4)** a mis en évidence qu'un **programme excentrique** d'une durée de 6 semaines, composé de 4 exercices progressifs de renforcement **des ischio-jambiers** (*nordic hamstring exercise, single-leg romanian deadlift, slide leg exercise et Askling's glider*), représentait une méthode efficace pour améliorer significativement les MFM des IJ en mode excentrique (+7.1%), le ratio mixte (+9.3%), et surtout la souplesse passive (+12.7%). Étant donné que les déséquilibres musculaires et le manque de souplesse sont fréquemment cités comme facteurs de risque de lésion musculaire des IJ, ce programme pourrait s'avérer utile dans le cadre d'une stratégie de prévention lésionnelle parmi les populations à risque élevé de blessures (ex. : sprinteurs, footballeurs). De plus, l'absence de matériel requis rend son implémentation dans un contexte réel d'entraînement particulièrement abordable, notamment pour des sportifs amateurs.
- d) Une **étude prospective (étude 5)** sur 59 **patients opérés** d'une **plastie du LCA** a permis de déterminer que les sujets qui ont atteint, dans les deux années post chirurgie, un niveau de performance identique à la période d'avant blessure présentaient de meilleures performances lors d'une batterie de tests réalisée 6 mois après la plastie. En particulier, le niveau d'activité, la distance sautée lors d'un single hop test, les scores KOOS et ACL-RSI apparaissaient supérieurs par comparaison avec les sujets qui n'ont pas retrouvé leur niveau de performance antérieur ; les différences bilatérales de MFM des quadriceps et IJ entre côté sain et côté opéré étaient quant à elles inférieures à celles des sujets qui n'ont pas retrouvé leur niveau de performance antérieur. Le seul

facteur prédictif de retour à la performance était le score ACL-RSI (OR 1.70; $p=0.010$) avec un indice de Youden de 65 points. Dès lors, le ressenti psychologique, évalué à 6 mois après reconstruction du LCA via le questionnaire ACL-RSI, représenterait le meilleur facteur prédictif de retour à la performance similaire au niveau pré-lésionnel dans les deux années consécutives à la chirurgie.

- e) Enfin, nous avons exploré, parmi une population de **38 footballeurs professionnels**, les potentielles **associations entre force musculaire analytique et performances de sauts** verticaux et horizontaux (**étude 6**). Si aucune corrélation n'a été observée entre les données isocinétiques et de sauts, les joueurs présentant une faible qualité de force relative du Quadriceps (<2.71 N.m/kg) ont, pour une majorité des variables de sauts, réalisé des performances de sauts inférieures comparativement à celles des joueurs à qualité de force relative élevée (>3.14 N.m/kg; $p<0.05$). Il apparaît donc utile de normaliser les valeurs de moments de force maximale déterminées en isocinétisme par rapport au poids de l'individu. Parmi les joueurs avec antécédent de blessures, les plus grandes différences bilatérales entre côté blessé antérieurement et côté sain ont été observées via l'isocinétisme (9 à 16%), par comparaison aux épreuves de sauts (2 à 9%). Selon ces résultats, l'implémentation d'une évaluation isocinétique en période de pré-saison chez des footballeurs professionnels apparaît justifiée ; une normalisation des valeurs de moments de force maximale par rapport au poids de l'individu peut également fournir des informations utiles.

Tableau 1. Synthèse des principaux résultats des études composant la thèse de doctorat

Chapitre	N° de l'étude	Vue d'ensemble des principaux résultats
I	1	<ul style="list-style-type: none"> Les principaux critères utilisés par les médecins pour autoriser la reprise compétitive après lésion musculaire des IJ chez un footballeur professionnel sont : disparition totale des douleurs, normalisation de la force musculaire, sensations subjectives rapportées par le joueur, normalisation de la souplesse musculaire des IJ, et performance à un test spécifique au football Il existe un manque de consensus sur les paramètres d'évaluation et sur les valeurs limites tolérées afin de garantir un retour sur terrain sécurisé L'avis du kinésithérapeute et du préparateur physique dans cette décision de reprise compétitive est pris en compte par une large majorité de médecins
	2	<ul style="list-style-type: none"> Les principaux critères utilisés par les médecins pour autoriser la reprise compétitive après plastie du LCA chez un footballeur professionnel sont : stabilité dynamique du genou lors d'un exercice spécifique au football, force musculaire et amplitudes articulaires de flexion et d'extension de genou Il existe un manque de consensus sur les paramètres d'évaluation et sur les valeurs limites tolérées afin de garantir un retour sur terrain sécurisé L'avis du kinésithérapeute et du préparateur physique dans cette décision de reprise compétitive est pris en compte par une large majorité de médecins
	3	<ul style="list-style-type: none"> Les connaissances et les modalités d'application concrètes de mesures préventives sont extrêmement variables parmi les entraîneurs de football Près de la moitié des entraîneurs ne connaît pas les programmes <i>FIFA 11+</i> et une large majorité estime ne pas être suffisamment formée à la prévention Les mesures de prévention lésionnelle n'apparaissent pas appliquées de manière suffisante sur les terrains de football belges francophones
II	4	<ul style="list-style-type: none"> Un programme de 6 semaines d'exercices excentriques progressifs des IJ et sans matériel est efficace pour améliorer la force excentrique, le ratio mixte et surtout la souplesse passive des IJ
	5	<ul style="list-style-type: none"> Après plastie du LCA, les patients qui ont retrouvé leur niveau sportif antérieur sont globalement plus performants aux évaluations à 6 mois après chirurgie Le ressenti psychologique, évalué 6 mois après reconstruction du LCA via le questionnaire ACL-RSI, représente le meilleur facteur prédictif de retour à la performance dans les deux années consécutives à la chirurgie
III	6	<ul style="list-style-type: none"> Les footballeurs professionnels présentant une faible qualité de force relative du quadriceps ont, pour une majorité des variables de sauts verticaux et horizontaux, réalisé des performances de sauts inférieures comparativement aux joueurs à force relative élevée Parmi les joueurs avec antécédent(s) de blessure(s), les plus grandes différences bilatérales entre côté blessé antérieurement et côté sain ont été observées via l'isocinétisme, par comparaison aux épreuves de sauts

1. Discussion intégrative

L'analyse de la réalité de terrain vécue par différents acteurs de la prévention lésionnelle suscite un intérêt scientifique marqué, comme en attestent différentes publications récentes de qualité sur le sujet [14–26]. À nos yeux, l'identification des modalités concrètes d'application de stratégies préventives et leur confrontation avec les modèles préventifs théoriques ainsi qu'avec les recommandations basées sur l'évidence scientifique devraient permettre de dégager des axes d'amélioration de ces stratégies de terrain. Nos deux premières études se sont inscrites dans cette perspective et ont mis en évidence, parmi les médecins interrogés sur les critères de RST utilisés au quotidien après LIJ ou PLCA chez un footballeur élite, certains points de convergences mais aussi des points de divergences. En termes de convergences, la nécessité d'utiliser des critères objectifs et la hiérarchie (par ordre d'importance) de ces critères semblent globalement consensuelles, tout comme le besoin d'obtenir l'avis du kinésithérapeute et du préparateur physique pour prendre sereinement une décision de remise sur terrain d'un sportif après blessure. Cette notion d'approche pluridisciplinaire lors de la décision de reprise sportive a été soulignée comme essentielle par plusieurs spécialistes [27–34] et correspond assurément à un besoin d'optimisation du processus de RST d'un sportif blessé. Le principal point de divergence réside dans les modalités différentes d'évaluation, en particulier pour ce qui concerne l'évaluation musculaire : les paramètres analysés et les valeurs limites (ou l'absence parfois de valeurs limites) ne font pas l'objet d'un consensus entre les médecins interrogés. Au regard d'études prospectives, il apparaît justifié de recommander l'usage d'une évaluation isocinétique des quadriceps et des IJ après PLCA ou LIJ. La récupération de déficits bilatéraux inférieurs à 10% [34,35] et de valeurs satisfaisantes de ratios agonistes/antagonistes (dont les normes peuvent dépendre du type de dynamomètre utilisé) [35,36] nous semblent s'imposer comme un élément à généraliser dans l'optique d'un RST optimal. Ce critère fait cependant l'objet de certaines controverses, comme notamment celle mentionnée lors d'un consensus Delphi [27] consacré aux critères de RST après LIJ. Dans cette étude de van der Horst et al. [27], la notion de symétrie de performances musculaires semblait diviser les experts : d'un côté certains experts considéraient la récupération d'une symétrie de force excentrique des IJ comme fondamentale étant donné que des asymétries (particulièrement en mode excentrique) favoriseraient la récurrence lésionnelle ; de l'autre côté,

certain experts estimaient que les évaluations de force ne sont pas fonctionnelles, que les asymétries sont normales et que les performances musculaires développées lors de ces épreuves sont influencées par de multiples facteurs. Sur base de notre expérience clinique et d'études réalisées au sein de notre service [36], nous nous plaçons dans la même optique que le premier groupe d'experts de l'étude de van der Horst [27] et plaidons pour une systématisation de l'évaluation des performances musculaires après LIJ ou PLCA.

L'étude par questionnaire sur les entraîneurs de football (étude 3) a notamment permis d'observer qu'une approche préventive de type « collective » (programme identique pour tous, indifféremment des caractéristiques spécifiques de chacun) représentait la norme parmi les clubs de niveau loisir ou ceux entraînés par des coaches à faible niveau de qualification. *A contrario*, l'approche « individualisée » (identification d'un profil de risque lésionnel via l'utilisation de *screening tests*) est plutôt préconisée dans le haut niveau ou parmi les entraîneurs plus hautement qualifiés. La question de la pertinence et de l'utilité de ces *screening tests* en prévention primaire, qui représentent la pierre angulaire de cette approche préventive « individualisée », est débattue depuis longtemps. De nombreuses études prospectives ont exploré une éventuelle association entre les performances lors d'un test et le risque lésionnel, certaines avec succès [36–46], d'autres moins [47–54]. Ces études portaient sur des facteurs aussi variés que la force musculaire, la mobilité, l'équilibre, les qualités biomécaniques ou une association de ces différents facteurs. Bahr [55] a poussé plus loin la réflexion et estime que pour obtenir d'un *screening test* une valeur prédictive convaincante de future blessure, ce test devrait répondre à trois exigences : 1) une forte corrélation doit être établie entre un marqueur de ce test et le risque lésionnel ; 2) l'usage de ce test doit être répété parmi une population spécifique en séparant, selon des valeurs seuils prédéterminées, les athlètes à risque élevé de blessure des autres ; 3) l'intervention, étudiée via un essai randomisé et contrôlé, doit démontrer un bénéfice plus grand parmi le groupe de sujets à risque élevé que parmi la population contrôle. Ainsi, l'auteur conclut sans équivoque qu'à ce jour, il n'existe aucun outil répondant à ces trois critères et donc qu'aucun test n'est actuellement capable de prédire une future blessure...et que ce ne sera probablement jamais le cas ! Van Dyk et Clarsen [56] abondent dans ce sens et rappellent que le fait d'associer un facteur de risque avec une blessure ne signifie pas que nous pouvons identifier précisément des athlètes à risque, c'est-à-dire que ce facteur de risque ne pourrait pas représenter un élément prédictif suffisamment

fiable de lésion ultérieure. Cependant, certains spécialistes appellent à nuancer cette position qu'ils estiment excessive et recommandent de continuer à utiliser ces *screening tests* [57-60]. Ainsi, Verhagen et al. ont publié un plaidoyer au titre évocateur en faveur de l'utilisation de *screening tests: Do not throw the baby out with the bathwater; screening can identify meaningful risk factors for sports injuries* [57]. Parallèlement, McCunn et Meyer [59] ont également alerté sur l'importance de ne pas diaboliser les *screening tests*, malgré leur incapacité à prédire précisément une future blessure. Ces auteurs ont pris l'exemple de la faiblesse des IJ en mode excentrique chez les footballeurs professionnels et questionnent la pertinence d'abandonner les tests permettant d'évaluer la force musculaire excentrique : faut-il arrêter les tests musculaires des IJ en mode excentrique sous prétexte que nous ne pouvons affirmer qu'une faiblesse (identifiée à l'aide d'une valeur seuil prédéterminée) impliquera dans 100% des cas une blessure ultérieure ? Il semble donc exister différentes visions de la prévention lésionnelle, selon que l'on estime qu'un *screening test* peut réellement contribuer aux stratégies de prévention lésionnelle ou bien qu'aucune plus-value ne peut être apportée par un tel test. Notre point de vue sur la question rejoint à la fois celui de ces spécialistes [57-60] mais finalement aussi celui des entraîneurs de football interrogés dans l'étude 3 : le niveau de jeu de l'équipe nous semble représenter un paramètre central dans le choix de la stratégie préventive. Une stratégie collective semble parfaitement indiquée pour le sport à un niveau amateur, notamment grâce à une grande facilité d'implémentation, un aspect relativement peu chronophage dû à l'absence de tests, ainsi qu'un impact financier minime. À cet égard, l'implémentation de programmes « clé sur porte » tels que le *FIFA 11+ injury prevention program* représente une stratégie pertinente [18]. Ce programme peut être qualifié d'« échauffement neuromusculaire » car il consiste à consacrer les vingt premières minutes d'un entraînement à la réalisation de multiples éléments à caractère préventif : activation cardiovasculaire, exercices de renforcement musculaire, de technique de course et d'équilibre, plyométrie progressive. Par contre, il nous apparaît essentiel d'identifier au mieux le profil de risque lésionnel d'un athlète de haut niveau en réalisant une batterie de tests à visée préventive. Tout en restant conscients de l'impossibilité de réellement prédire une future blessure, nous estimons que l'utilisation de *screening tests*, même s'ils peuvent s'avérer parfois imparfaits dans leurs qualités métrologiques, apportent une plus-value aux stratégies préventives dans le haut niveau. Le rapport coût/efficacité ou retour sur investissement nous semblent meilleurs grâce à l'utilisation de ce type d'approche lors d'un travail préventif avec

des sportifs élités. Cette notion de calcul de retour sur investissement en termes de prévention a été récemment discutée par Fuller et représentera probablement à l'avenir un axe intéressant de réflexion permettant d'affiner les futures stratégies préventives [61]. Une individualisation de la prévention pourra évidemment être tout de même étendue au sportif amateur si ce dernier le souhaite ou dans certaines situations particulières comme par exemple la présence d'antécédents lésionnels multiples. Dans ce cas, identifier les déficits spécifiques de l'athlète et proposer une réponse en adéquation avec ces déficits nous semble assurément plus bénéfique qu'un *one size fits all* tel que proposé dans un programme collectif.

Nous avons souligné, dans le chapitre introductif de ce manuscrit, que si la recherche sur la prévention lésionnelle s'est fortement développée ces dernières années, les données épidémiologiques actuelles sur la survenue de blessures ne peuvent pas encore inciter à un réel optimisme. Pour remédier à cette situation, de nombreux axes d'amélioration des stratégies préventives ont été proposés. Parmi ceux-ci, il apparaît important, particulièrement dans le contexte du sport à un niveau loisir, de proposer des programmes accessibles, simples et peu coûteux [62-64] permettant à tout sportif amateur de pouvoir bénéficier de stratégies préventives au même titre qu'un sportif élite. Le programme de renforcement excentrique préventif des IJ que nous avons mis en place dans l'étude 4 a été conçu pour rencontrer ces différents paramètres et semble donc adapté pour tout sportif amateur pratiquant un sport où le risque de LIJ est élevé. L'efficacité de programmes très simples comme le NHE n'est plus à démontrer [64-67], et dès lors, la pertinence de développer de nouveaux protocoles préventifs pourrait être logiquement questionnée. Il nous apparaît utile de rappeler que, si le NHE demeure probablement l'exercice de renforcement des IJ le plus connu et le plus étudié, il présente toutefois une caractéristique qui ne plaide pas en sa faveur : son action prédominante se localise au niveau de l'articulation du genou (la hanche restant verrouillée en extension) et n'est pas spécifique de la fin de la phase oscillante du sprint qui représente pourtant la partie la plus délicate lors d'un cycle de jambes en terme de risque de lésion instantanée des IJ [68-70]. L'association du NHE avec d'autres exercices impliquant un travail excentrique des IJ localisé spécifiquement à la hanche (à l'instar des exercices développés dans les travaux d'Askling et al. et Tyler et al. en rééducation post LIJ [71,72]) pourrait donc, théoriquement, apporter au programme préventif de renforcement un caractère plus *holistique* que l'unique réalisation d'un exercice isolé. Sur base de notre étude, nous ne pouvons pas déterminer si

l'efficacité de notre programme de renforcement est supérieure à celle du NHE réalisé isolément (ce point sera par ailleurs développé dans la partie « perspectives de futures recherches »). Nous pouvons cependant objectiver que l'influence de ce programme de renforcement sur la force musculaire excentrique et sur la souplesse s'est avérée substantielle. Indirectement, il semble donc raisonnable de penser que ce type de programme contribue de manière significative à réduire l'incidence de survenue de LIJ parmi les sports à risque. Néanmoins, l'amélioration de force excentrique des IJ était inférieure à celle retrouvée dans d'autres études ayant utilisé des exercices/méthodologies différentes [68,73–76]. Ainsi, face à l'éventualité d'un sportif présentant des déficits importants de force musculaire excentrique des IJ, un travail complémentaire aux quatre exercices décrits dans notre étude semblerait justifié. L'aide d'un dynamomètre isocinétique, qui permet d'atteindre de façon sécurisée des intensités de contraction plus élevées, pourrait s'avérer particulièrement contributive [77].

Si l'utilisation de *screening tests* en prévention primaire demeure source de controverse (cf. discussion ci-dessus), il n'en va pas de même en ce qui concerne la prévention secondaire : la nécessité de réaliser ces tests et de valider des critères spécifiques en fin de rééducation après blessure apparaît nettement plus consensuelle [29,30,34,35,78-83], essentiellement en raison du risque majoré de nouvelle blessure chez un athlète précédemment blessé [2,84,85]. La validation de critères spécifiques a pour objectifs, in fine : 1) d'estimer le risque lésionnel global d'un athlète lors de sa reprise sportive et, 2) d'évaluer la qualité de récupération du niveau de performance de l'athlète [31]. Notre étude prospective (étude 5) consacrée aux patients opérés d'une PLCA n'a pas permis d'identifier des paramètres associés à un risque majoré de récurrence : la cohorte et le nombre de récurrences de ruptures du LCA, trop faibles en termes de nombre, n'ont pas permis de remplir cet objectif ambitieux. En revanche, nous avons mis en évidence que certains tests, réalisés 6 mois après PLCA, étaient associés à une récupération du niveau de performance sportive d'avant blessure. Même si ce délai de 6 mois post chirurgie ne représente pas forcément le meilleur moment pour reprendre le sport chez les patients opérés d'une PLCA, ces résultats plaident en faveur d'une rééducation la plus complète possible avant cette échéance. Plus que les paramètres neuromusculaires ou biomécaniques, ce sont les facteurs psychologiques (appréhensions, émotions, ressenti subjectif du risque de récurrence) qui se sont avérés très étroitement associés au retour à la performance : plus l'athlète se sent prêt à reprendre le sport, plus la probabilité de retrouver

son niveau de performance antérieur apparaît élevée. Ce constat, qui va dans le sens des études précédentes sur le sujet [86-90], suscite deux réflexions. Premièrement, l'autorisation de reprise sportive ne devrait pas uniquement se baser sur des critères biomécaniques, neuromusculaires, ou d'autres paramètres « physiques » mais devrait également inclure une évaluation des facteurs psychologiques pour compléter l'identification du degré de récupération après blessure, idéalement avec l'aide d'auto-questionnaires validés [91-94]. Il est d'ailleurs intéressant de noter que les facteurs psychologiques ne semblent que peu corrélés avec le facteur « force musculaire », comme le relatent O'Connor et al. dans une étude récente sur près de 500 sujets après PLCA [95]. Étant donné cette absence de corrélation qui tend à démontrer une indépendance entre les facteurs psychologiques et les facteurs physiques (tout au moins le facteur « force »), la prise en compte du ressenti psychologique semble confirmer son importance après PLCA, au même titre que les paramètres « physiques » qui ne devraient pas pour autant s'en retrouver négligés vu leur importance [29,30,35]. Deuxièmement, nous pensons qu'il est nécessaire de rester prudents avec cette notion de facteurs psychologiques avant de reprendre le sport. En effet, à l'heure actuelle, nous ne savons pas si la survenue d'une récurrence de rupture du LCA est également associée à un faible ressenti psychologique à reprendre le sport. Il semble plausible qu'un certain degré d'appréhension puisse présenter un aspect « protecteur » d'un nouvel épisode lésionnel [96-97] : un degré élevé de confiance associé à de faibles craintes et appréhensions à l'idée de reprendre le sport (particulièrement pendant les premières semaines après la reprise sportive, période durant laquelle le risque de nouvelle lésion est maximal [81,98,99]), pourrait exposer le sportif à un risque accru de récurrence, et ce malgré le fait que ce facteur représente un élément favorable de retour à la performance. Ce potentiel paradoxe nous invite donc à la prudence face à un athlète en situation de reprendre le sport après PLCA et souligne la nécessité de développer de nouvelles études prospectives à grande échelle sur cette thématique.

Chez les sportifs de haut niveau, certains *screening tests* peuvent également fournir, en parallèle avec des données relatives à la prévention lésionnelle, des informations précieuses en termes de capacité de performance sur le terrain. L'outil isocinétique, largement répandu dans les clubs de football élites mais néanmoins sujet de controverse quant à sa capacité à identifier un risque lésionnel [37,47,53,77,100,101], a été l'objet de notre attention dans la dernière étude de cette thèse (étude 6). Dans ce travail, nous avons observé que, malgré une absence de

corrélation entre les MFM développés en isocinétisme et les performances lors d'épreuves de sauts unilatéraux verticaux ou horizontaux, les footballeurs avec une faible QFR du quadriceps ont montré des performances de sauts significativement inférieures aux sujets avec une QFR élevée. Il semble utile de rappeler que si l'on ne considère que la force absolue du quadriceps, aucune différence n'est observée dans ces épreuves de sauts entre les premier et troisième quartiles de la cohorte. Cela signifie que l'analyse des moments de force maximale normalisés par rapport à la masse de l'individu pourrait s'avérer plus pertinente que la traditionnelle analyse de force absolue pour envisager des pistes d'explication à de faibles performances aux sauts chez les sujets à faible QFR. Il reste cependant vraisemblable qu'une faiblesse musculaire localisée ne représente pas l'unique paramètre influençant négativement la performance de saut. Parmi les déterminants de la performance en saut, nous pouvons citer le potentiel génétique, la force maximale produite lors d'un mouvement de demi-squat (1RM), le taux de développement de force (« rate of force development ») lors d'un geste de saut, la puissance musculaire, la coordination intra- et inter-musculaire (notamment entre les extenseurs de la hanche et du genou), la qualité de gestuelle du saut, etc. [102-108]. Raisonnablement, le facteur « QFR » ne pourra ainsi pas expliquer totalement une faiblesse lors de sauts. Par ailleurs, chez les footballeurs avec antécédent significatif de blessure(s) aux membres inférieurs, l'outil isocinétique s'est avéré plus discriminant que les tests de sauts pour détecter des différences de performances entre le côté blessé antérieurement et le côté sain. Étant donné qu'une asymétrie de force aux membres inférieurs semble représenter un facteur de risque de blessure ou de récurrence [35,36,46,109,110], il apparaît logique d'utiliser l'outil permettant l'identification la plus précise de ces asymétries, à savoir le dynamomètre isocinétique selon les résultats de notre étude. Bien entendu, l'isocinétisme ne demeure pas l'unique outil à utiliser pour tenter d'apprécier la probabilité d'une future blessure. Pour rejoindre les éléments discutés précédemment dans ce chapitre, l'isocinétisme ne représente qu'un outil parmi d'autres permettant de contribuer à identifier un profil de risque lésionnel chez un sportif et ainsi de détecter des individus à risque majoré de blessure. Dans cette optique, seule l'association de plusieurs tests évaluant différentes qualités (neuromusculaires, fonctionnelles, biomécaniques, etc.) pourra fournir une réelle plus-value à une stratégie préventive individualisée comparativement à une approche collective.

2. Implications pratiques et cliniques

Les deux premières études composant le chapitre I nous permettent tout d'abord de proposer des **recommandations pour l'efficience des médecins et des kinésithérapeutes gérant le retour au sport après blessure**. Nous avons fait le constat que pour autoriser un footballeur élite à reprendre la compétition, les médecins se basaient préférentiellement sur un nombre relativement élevé de critères ; cependant, aucun consensus sur les modalités d'évaluation de ces critères ainsi que sur des valeurs limites n'a été observé. Sur base de la littérature scientifique la plus récente et pour faciliter cette décision de reprise de la compétition, il semblerait opportun de clarifier cette approche « criteria-based » en regroupant tous ces critères sous forme de domaines à explorer. Ces domaines, à priori associés à un risque de récurrence, devraient permettre d'apprécier le degré de récupération du sportif après sa blessure et d'établir ainsi un « profil de risque lésionnel » en vue de sa future participation sportive. Ainsi, sur base de notre étude 1 et de deux études récentes de qualité (consensus d'experts via procédure Delphi sur les critères de reprise compétitive après lésion musculaire des IJ) [27,29], nous pouvons proposer aux cliniciens les domaines suivants de critères à analyser après lésion musculaire des IJ chez un footballeur élite : performance fonctionnelle, force musculaire, souplesse, douleur et facteurs psychologiques. L'obtention de ces critères nécessite non seulement le recours à de multiples outils d'évaluation, mais aussi à une capacité d'analyse pointue des différents résultats pour laquelle l'apport d'un « sport scientist » représenterait une aide précieuse. Le tableau 2 reprend les grands domaines de fonction à évaluer, les tests relatifs à ces domaines, ainsi que les valeurs seuils permettant d'établir au mieux le profil de risque lésionnel.

Tableau 2. Proposition de critères de reprise compétitive après lésion musculaire des ischio-jambiers chez un footballeur professionnel

Domaine	Test	Valeur seuil
Performance fonctionnelle	Sprint maximal 10 ou 30m	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de douleur • Performance identique (<10%) à un test antérieur à la blessure
Force musculaire	Isocinétisme IJ (CON et EXC)	<ul style="list-style-type: none"> • <10% de différence bilatérale • Ratios IJ/Q dans les normes, en particulier le ratio mixte • Performance identique (<10%) à un test antérieur à la blessure
Souplesse	Passive Knee Extension test ou Straight Leg Raise	<ul style="list-style-type: none"> • <10% de différence bilatérale • Performance identique (<10%) à un test antérieur à la blessure
Douleur	Échelle numérique	<ul style="list-style-type: none"> • Absence complète de douleur (palpation, sprint, épreuves de force ou souplesse)
Facteurs psychologiques	Entretien individuel ou questionnaire	<ul style="list-style-type: none"> • Absence d'appréhensions et de craintes

Cet exercice peut également être appliqué au contexte des plasties du LCA. En effet, la mise en parallèle des résultats des études 2 et 5, consacrées toutes deux aux critères de reprise sportive après plastie du LCA, permet de suggérer aux cliniciens d'utiliser les paramètres de reprise sportive tels que décrits dans le tableau 3.

Tableau 3. Proposition de critères de reprise compétitive après plastie du LCA

Domaine	Test	Valeur seuil
Délai post-opératoire	/	<ul style="list-style-type: none"> • > 6 mois
Force musculaire	Isocinétisme IJ (CON et EXC) et Q (CON)	<ul style="list-style-type: none"> • <10% de différence bilatérale • Ratios IJ/Q dans les normes (dépendant du type de dynamomètre)
Performance de sauts unipodaux	Hop tests (single, triple, triple crossover, 6-m timed)	<ul style="list-style-type: none"> • <10% de différence bilatérale
Examen clinique	<ul style="list-style-type: none"> • Laxité (tiroir antérieur, Lachman) • Mobilité flexion et extension • Douleur/gêne 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de laxité • Extension symétrique • Déficit maximal de flexion <5-10° (amplitude « fonctionnelle ») • Absence de douleur ou gêne
Patient Reported Outcome Measures	Questionnaire ACL-RSI	<ul style="list-style-type: none"> • Score > 65 points
Performances fonctionnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Épreuve globale (ex : Agility T-test) • Épreuve qualitative (ex : LESS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensation subjective d'être à 100% • Normes spécifiques selon l'épreuve choisie

Au vu de la variété de ces différents critères, il apparaît *de facto* essentiel que l'autorisation de remise d'un athlète sur le terrain soit le fruit d'une décision collégiale entre différents intervenants [31,111]. En particulier, la prise en compte de l'opinion du kinésithérapeute et du préparateur physique devrait permettre d'éviter une vision trop restrictive quant au degré de récupération du sportif blessé : l'apport d'informations complémentaires à celles en provenance de l'examen clinique réalisé par le médecin devrait ainsi permettre d'étoffer le profil de risque lésionnel du sportif. En l'absence de concertation, une prise de décision unilatérale du médecin ou du chirurgien en faveur de la reprise sportive d'un athlète pourrait avoir comme conséquence de sous-estimer le risque de récurrence encouru par l'athlète en raison d'une identification incomplète de son profil de risque lésionnel.

La prise en compte des critères décrits ci-dessus ne finalise pour autant pas le processus de décision de remise sur terrain d'un sportif après blessure, elle n'en représente que la première étape selon le modèle développé par Shrier [112]. Ce processus décrit en effet deux étapes

complémentaires afin d'obtenir l'image la plus précise possible de l'exposition d'un athlète à une récurrence. La seconde étape a pour objectif de déterminer les éléments susceptibles de modifier le risque lié à la participation sportive et nécessite de contextualiser la situation dans laquelle se trouve le sportif blessé. Concrètement, il peut s'avérer nécessaire d'ajuster les valeurs limites de certains critères en fonction, par exemple, du sport pratiqué, du niveau de jeu ou encore de la position sur le terrain en sport collectif : un sportif « occasionnel » doit-il valider rigoureusement les mêmes critères qu'un sportif professionnel ? Un judoka est-il soumis aux mêmes contraintes qu'un tennisman ? Un gardien au handball présente-t-il un risque de récurrence supérieur comparativement à un joueur de champ... ? Les études réalisées dans le cadre de cette thèse ne permettent pas d'apporter des réponses à ces questions, mais dans l'optique d'une reprise sportive sereine, nous suggérons aux cliniciens de prendre en compte ces différents éléments liés au contexte dans lequel le sportif évolue. La confrontation entre, d'une part des critères objectifs et, d'autre part les contraintes que le sportif subit une fois sur le terrain (« contextualisation » des critères de RST) devrait permettre de définir le moment le plus opportun pour une reprise sportive sécurisée. Ce moment de reprise sportive peut encore être modifié en fonction d'éléments plus ou moins importants comme le calendrier compétitif ou la pression d'un coach, d'un club ou d'un proche par exemple (étape 3).

Sur base de l'étude 3, **plusieurs recommandations peuvent être formulées vis-à-vis de ce que nous appelons parfois pudiquement la « réalité de terrain »**. Outre les propositions formulées directement par les entraîneurs via notre enquête (*cfr chapitre 1 – étude 3*, soit principalement : dispenser cette thématique au cours de formations continues et consacrer des colloques d'entraîneurs sur le sujet de la prévention), nous plaçons pour une approche focalisée sur plusieurs axes simultanément. En premier lieu, l'intégration plus précoce de la thématique de la prévention lésionnelle dans le parcours de formation des entraîneurs représente probablement un axe de travail prioritaire. Nos travaux ont effectivement mis en lumière que les entraîneurs à faible niveau de qualification maîtrisent peu cette thématique. Nous suggérons donc aux responsables de la formation des entraîneurs en Fédération Wallonie-Bruxelles de développer ces aspects préventifs dès l'entrée de l'entraîneur dans le premier cycle de formation. La dispense de cours relatifs aux stratégies préventives simples et « clé sur porte » comme les programmes *FIFA 11+* nous semblerait représenter une porte d'entrée intéressante pour les entraîneurs en début de formation. Un deuxième axe de travail

pourrait consister à améliorer la vulgarisation scientifique des données relatives à la prévention lésionnelle. Comme décrit dans le chapitre introductif de cette thèse, l'efficacité de stratégies préventives peut s'avérer particulièrement haute [62,64,65,113,114]. Cependant, il est tout à fait possible que les données issues de ces études, décrites dans des revues scientifiques au jargon parfois complexe, ne soient pas comprises par les entraîneurs qui ne bénéficient pas d'une formation scientifique suffisante que pour les interpréter aisément. Dès lors, transmettre ces informations relatives à la prévention lésionnelle dans un langage compréhensible et via un canal accessible à tout entraîneur représente probablement un élément plaidant en faveur d'une meilleure compréhension et intégration de ces données. Troisièmement, une sensibilisation à la thématique de la prévention lésionnelle pourrait être initiée dès les cours d'éducation physique à l'école (principalement dans l'enseignement secondaire). Ainsi, au même titre que les thématiques des facteurs influençant la performance sportive ou des bienfaits de l'activité physique sur la santé, une sensibilisation des élèves à la prévention lésionnelle pourrait représenter un objectif d'apprentissage intéressant ; préalablement, la maîtrise par les enseignants des savoirs de base sur la prévention devra être assurée. Enfin, l'identification d'un « référent prévention » au sein de chaque club pourrait permettre de mettre en place une « politique préventive » adaptée aux besoins spécifiques du terrain. Ce référent pourrait donc encadrer les entraîneurs en leur fournissant des lignes de conduite et des outils concrets afin d'implémenter directement sur le terrain les stratégies préventives les mieux adaptées en fonction de la réalité de terrain.

Les résultats de l'essai randomisé contrôlé sur l'intérêt d'un programme de terrain de renforcement excentrique des IJ (étude 4) mettent tout d'abord en lumière un élément potentiellement sous-estimé par les médecins, kinésithérapeutes, entraîneurs et préparateurs physiques : **le renforcement musculaire en mode excentrique permet d'améliorer la souplesse d'un individu**. Si ces données ne sont pas réellement neuves [115], elles permettent de rappeler que la pratique d'étirements ne constitue pas l'unique moyen d'améliorer la souplesse. À cet égard, il nous paraît intéressant de souligner le fait que la supériorité des étirements sur l'exercice excentrique n'est pas démontrée scientifiquement [115-117], ce qui renforce d'autant plus l'intérêt d'implémenter prioritairement des exercices excentriques parmi les populations à risque de LIJ comme les sprinteurs ou les footballeurs. Deuxièmement, étant donné que la mise en place d'un programme tel que celui proposé dans l'étude 4 (absence de

matériel spécifique, exercices équilibrés en termes d'intensité et de degré d'allongement musculaire) permet une amélioration significative de la force excentrique des LJ, celui-ci peut être considéré comme un outil intéressant en pratique quotidienne (tant en prévention primaire que secondaire). Cependant, nous attirons l'attention des cliniciens sur le fait que d'autres programmes utilisant préférentiellement un matériel plus conséquent et onéreux (typiquement un dynamomètre isocinétique) semblent produire des améliorations de force excentrique supérieures [68,73-76]. L'adaptation de la charge au cours du mouvement (élément caractérisant spécifiquement l'isocinétisme), qui permet à l'individu de développer une force maximale tout au long du mouvement de flexion-extension de genou, explique probablement ces améliorations. De plus, la sécurité du sportif est garantie en raison de l'arrêt instantané du mouvement dès que le dynamomètre ne détecte plus la tension minimale produite par ce sportif. En conséquence, face à un patient ou un sportif qui présenterait des déficits majeurs de force excentrique, le choix de travailler sur dynamomètre pourrait s'avérer plus pertinent afin d'optimiser l'efficacité du renforcement.

Outre l'intérêt d'utiliser des critères de retour sur terrain après PLCA comme nous l'avons décrit précédemment dans ce chapitre, les résultats de l'étude 5 soulignent **l'importance d'utiliser, à côté d'épreuves musculaires et fonctionnelles, un questionnaire explorant les facteurs psychologiques en vue d'une reprise sportive**. En pratique quotidienne, ces facteurs ne nous semblent pas systématiquement pris en compte pour décider du moment le plus opportun de retour sur terrain d'un athlète après blessure. Bien que le questionnaire ACL-RSI ne soit qu'un des rares questionnaires spécifiques à une pathologie précise (en l'occurrence la rupture du LCA), il existe pourtant des échelles globales permettant d'apprécier ces notions d'aptitude psychologique à la reprise sportive [86,93,94,118-122] : malgré un manque de spécificité à certaines pathologies, nous ne pouvons que recommander leur utilisation en pratique courante. Notre étude permet également d'insister sur l'attention particulière à accorder aux patients qui, 6 mois après PLCA, présenteraient un score ACL-RSI inférieur à 65 points. Ces derniers présentant un risque accru de ne pas retrouver leur niveau sportif d'avant blessure, il pourrait s'avérer important de prolonger les phases avancées de rééducation/réathlétisation afin de réduire les craintes et appréhensions liées au retour sur terrain, même si les paramètres musculaires et fonctionnels peuvent être considérés comme satisfaisants voire optimaux. L'efficacité des stratégies de réduction de ces craintes et appréhensions demeure cependant

globalement peu développée et l'évidence scientifique apparaît particulièrement pauvre sur ce sujet [123,124].

L'utilité du dynamomètre isocinétique comme évaluation de pré-saison chez des sportifs élités semble remise en cause par certains, particulièrement en raison de la faiblesse présumée de son « caractère prédictif de blessure » [47,48,53,100]. Comme nous l'avons discuté précédemment, il apparaît essentiel d'insister sur le fait que prédire une blessure relève du domaine de l'impossible ; par contre, utiliser des outils permettant une détection de sujets à risque majoré de blessure peut présenter une réelle plus-value lorsque l'on souhaite affiner une stratégie préventive. **Les résultats de l'étude 6 nous autorisent à recommander la mise en place d'une évaluation isocinétique du genou en début de saison chez le footballeur élite.** Ce type d'évaluation musculaire analytique est en effet apparu plus sensible que les épreuves de sauts verticaux ou horizontaux unilatéraux pour déterminer des différences bilatérales de performance chez des footballeurs avec antécédents de blessure. Dès lors, l'outil isocinétique permet, après l'objectivation des déficits de force, d'engager l'athlète dans un processus de rééquilibration qui devrait lui être bénéfique tant en termes de performance qu'en termes de prévention. De plus, l'exploitation des MFM normalisés par rapport à la masse corporelle de l'individu pourrait contribuer à expliquer les qualités de sauts unilatéraux, essentielles en termes de performance en football. Nous plaidons donc pour une utilisation systématique et raisonnée d'une évaluation isocinétique en début de saison chez un footballeur professionnel, celle-ci devant idéalement être intégrée dans une batterie de tests plus large destinée à identifier un profil de risque lésionnel propre à chaque sportif.

3. Limitations

Les résultats des différentes études qui composent cette thèse doivent être interprétés en connaissance de certaines limitations. Celles-ci ont été abordées dans les parties « Discussion » de chacune de ces études mais nous en proposons un résumé dans ce chapitre.

Un questionnaire original a été développé dans l'objectif de réaliser un état des lieux des pratiques préventives de terrain (chapitre I). Il est possible que la manière d'énoncer nos questions (majoritairement sous forme de QCM) ait pu influencer les réponses de certains sujets interrogés qui n'auraient pas répondu de la même manière en cas de questions à réponses ouvertes. En connaissance de ce biais potentiel, nous avons tout de même préféré utiliser ce type de formulation en QCM, notamment en raison des difficultés d'analyse de réponses à des questions ouvertes. La proportion de médecins contactés à avoir répondu au questionnaire relatif aux critères de reprise compétitive après LIJ ou PLCA (études 1 et 2) s'élevait à 69% ; la proportion d'entraîneurs de football contactés à avoir répondu au questionnaire sur la prévention (étude 3) était inconnue mais ne devrait, selon nos estimations, pas dépasser 40%. Nous ne pouvons voiler la possibilité que les répondants à ces questionnaires soient ceux qui étaient les plus intéressés par le sujet. Potentiellement, ces derniers sont peut-être également les plus compétents dans le domaine évoqué : les connaissances et compétences des pratiques de terrain pourraient dès lors avoir été positivement surestimées. Par ailleurs, un biais de désirabilité sociale, qui consiste à formuler des réponses dans l'optique de se montrer sous une facette positive, n'est jamais à exclure lors de la passation d'un questionnaire, malgré l'anonymisation. Ce phénomène a potentiellement pu être accru en raison des choix multiples de réponses proposés aux sondés. Enfin, nous n'avons pas utilisé la méthode Delphi pour les études 1 et 2. Cette méthode, développée dans les années 1950 et régulièrement utilisée en recherche dans le domaine de la médecine du sport, vise à organiser une consultation d'experts sur un sujet précis afin de mettre en évidence des convergences et des consensus. In fine, des recommandations de bonnes pratiques peuvent ainsi être formulées en direction des praticiens, ceci avec une assise scientifique supérieure à la simple description de la réalité de terrain.

L'étude 4, qui traitait de l'efficacité d'un programme de renforcement excentrique des IJ, ne portait que sur des hommes pratiquant différents sports à un niveau loisir. Nos observations

ne peuvent donc raisonnablement être généralisées telles quelles à d'autres populations (femmes, sportifs/sportives élites ou issu(e)s d'une seule discipline sportive en particulier. Concernant le programme de renforcement qui ne comprenait que des exercices à vitesse lente, il aurait pu s'avérer pertinent d'y intégrer un exercice à haut vitesse de mouvement. Ces exercices à haute vélocité (de type *Kettlebell swing*, *Fitball flexion*, etc.) ont pour avantage de se rapprocher des vitesses angulaires observées lors de sprints et peut-être ainsi permettre une adaptation de la musculature plus en phase avec les contraintes subies lors de ce type d'efforts. Il est également possible que l'inclusion d'exercices à haute vitesse induise des améliorations plus importantes de mobilité active (mesurées via le H-test). Pour rappel, aucune modification de l'amplitude de mouvement lors du H-test n'a pu être mise en évidence à l'issue du programme de renforcement de 6 semaines. Enfin, par contrainte d'effectif, un second groupe intervention pratiquant exclusivement le NHE n'a pu être mis en place. Il ne nous est donc pas possible de comparer la valeur ajoutée du programme comprenant le NHE plus les trois exercices excentriques des IJ (Single-leg Roman deadlift, Slide leg exercise, Askling's glider) comparativement à l'effet du NHE réalisé isolément durant un même laps de temps, à savoir 6 semaines.

La participation de 59 sujets à l'étude sur les facteurs prédictifs d'un retour à la performance après PLCA (étude 5) représente un nombre assez restreint pour une étude prospective. Cet échantillon limité ne nous a d'ailleurs pas permis d'identifier des facteurs prédictifs d'une récurrence vu leur trop faible nombre. En outre, étant donné que cette étude incluait exclusivement des patients opérés pour rupture isolée du LCA et selon une plastie de type DIDT, les résultats ne peuvent être généralisés aux patients opérés avec d'autres types de plastie (ligament patellaire par exemple) ou présentant des lésions associées au(x) ménisque(s) ou à d'autres structures ligamentaires. Enfin, en l'absence de patients de niveau sportif III (sports de type course à pied, cyclisme, natation) ou IV (activités de la vie quotidienne), il semble peu pertinent d'extrapoler nos résultats à des patients présentant de tels niveaux sportifs.

Dans l'étude sur les performances anaérobies alactiques de footballeurs professionnels, nous avons tenté de déterminer l'influence d'un antécédent de blessure sur le profil isocinétique et fonctionnel. Nous n'avons cependant pas réalisé un suivi de blessures durant la saison suivant les évaluations. Ce suivi aurait pu nous permettre d'explorer d'éventuelles associations entre

les performances observées en pré-saison et la survenue de blessures. Cependant, le nombre de sujets inclus dans l'étude était probablement trop réduit pour pouvoir détecter de potentielles associations entre les variables mesurées et la survenue de blessures. Une autre limitation à cette étude provient du fait que les participants ne présentaient que très peu d'asymétries bilatérales entre le côté dominant et le côté non dominant (moyenne 3.2%). En conséquence de cette absence d'asymétries bilatérales parmi notre population, il n'a pas été possible de déterminer quelle méthode d'évaluation (isocinétisme ou sauts) était la plus adéquate pour détecter des asymétries de performances.

4. Perspectives de futures recherches

Cette thèse de doctorat ne fait pas exception à l'adage « *toute réponse à une question donnée génère encore plus de questions* ». Sur base des études développées dans ce manuscrit, nous proposons une réflexion sur de potentiels futurs axes de développement de recherches scientifiques.

L'état des lieux de la réalité de terrain vécue par les médecins et les entraîneurs de clubs de football a permis d'obtenir une image assez précise de la manière dont ceux-ci utilisent des stratégies préventives primaires ou secondaires. Dans le chapitre précédent, nous avons émis des propositions pouvant contribuer à améliorer leur approche préventive au quotidien, en particulier chez les entraîneurs de football. Si ces propositions pouvaient se concrétiser, il serait intéressant de vérifier, par un sondage similaire à celui utilisé dans l'étude 3, l'évolution des pratiques préventives parmi un échantillon similaire.

L'étude consacrée aux entraîneurs de football a également mis en évidence que les programmes *FIFA 11+*, dont l'efficacité a été largement démontrée [63,114,125-130], n'est que très peu utilisée sur le terrain par les entraîneurs. Parmi les entraîneurs qui connaissaient ce programme, certains ont mentionné, comme justification de la non application concrète de ce dernier avec leurs footballeurs, un réel manque d'attractivité des exercices proposés. Le caractère « austère » des exercices proposés pourrait effectivement représenter un frein à l'adhérence des entraîneurs mais aussi des sportifs (en particulier les jeunes) vis-à-vis de ce programme, avec l'installation potentiellement rapide d'une certaine lassitude à les réaliser. Pour pallier cet inconvénient, le développement de programmes préventifs à caractère plus ludique pourrait représenter une option intéressante. L'inclusion de jeux, idéalement avec ballons, pourrait à notre sens remplir un double objectif : favoriser une meilleure adhérence à moyen et long terme des athlètes vis-à-vis de ce programme, mais aussi être encore plus spécifique aux contraintes générées par la pratique du football. Nous émettons l'hypothèse que cette dimension d'adhérence à une stratégie préventive, qui peut s'avérer réellement problématique sur le terrain et annihiler des efforts parfois importants [131-134], représentera dans le futur un axe fondamental de développement de nouvelles méthodes préventives.

Le programme de renforcement des IJ, tel que nous l'avons proposé dans l'étude 4, apparaît globalement efficace pour améliorer la force et la souplesse de ces muscles. De futures recherches sont cependant nécessaires pour objectiver l'aptitude de ce programme à réduire l'incidence lésionnelle de LIJ. À l'instar d'études de qualité publiées récemment [62,64,66], une étude à large échelle, randomisée et contrôlée, portant sur des populations à risque comme les footballeurs ou les sprinteurs, pourrait être envisagée. L'intérêt réel du programme de renforcement que nous proposons ne pourra être fondamentalement démontré que si celui-ci conduit à une réduction de l'incidence lésionnelle supérieure à celle du NHE qui se situe tout de même aux alentours de 50% [65]. En accord avec d'autres spécialistes [69,70,135], nous émettons l'hypothèse que l'inclusion d'exercices excentriques préventifs à plus haut degré d'allongement et impliquant des mouvements de hanche pourrait présenter une efficacité supérieure à celle du NHE réalisé seul. Par ailleurs, il apparaît intéressant de garder à l'esprit que, si la réalisation d'exercices excentriques semble représenter l'élément préventif prioritaire selon les acteurs de terrain [136], deux éléments pourraient s'avérer tout aussi importants pour garantir une efficacité préventive optimale : l'entraînement progressif de sprints et la gestion de la charge de travail [137-142]. L'efficacité combinée de ces trois axes préventifs – renforcement excentrique, sprints progressifs, gestion de charge – demeure à l'heure actuelle largement méconnue et pourrait représenter un axe original de recherche. Enfin, la recherche sur la prévention de lésions spécifiquement musculaires ne devrait pas se limiter aux IJ car les données épidémiologiques nous montrent que d'autres groupes musculaires (droit fémoral, adducteurs, triceps sural) apparaissent également exposés, même si l'incidence lésionnelle n'atteint pas celle des IJ [1,2,138,143].

Dans le chapitre introductif de ce manuscrit (partie 2 – Modèles théoriques de prévention lésionnelle), nous avons souligné l'importance de contextualiser les démarches préventives au monde réel et de prendre en compte la nature complexe et dynamique d'une blessure sportive [144-146]. Une approche préventive résolument tournée vers le futur ne devrait donc pas uniquement être capable de déceler les facteurs de risque d'un individu, mais aussi d'identifier les (innombrables) interactions entre ceux-ci et créer ainsi une toile de déterminants d'une blessure. Cette identification d'interactions entre facteurs de risque pourrait permettre de définir les multiples voies de développement d'une blessure qui, si l'on ne considérait les facteurs de risque qu'en termes d'unités séparées, ne seraient pas mises en lumière et

réduiraient certainement l'efficacité des stratégies préventives. Récemment, plusieurs auteurs ont proposé des pistes pour rencontrer ces objectifs et pourraient inspirer de futures recherches. Assurément, celles-ci nécessitent toutes l'utilisation de méthodes d'analyses avancées impliquant la manipulation de données multiples (« *data science* ») et de méthodes statistiques novatrices. À cet égard, les acteurs de la recherche scientifique sur la prévention lésionnelle peuvent s'inspirer d'autres domaines de recherche, comme par exemple l'économie ou la météorologie qui s'appuient très largement sur de tels développements. Le *Machine Learning* pourrait ainsi représenter un outil prometteur [145]. Le *Machine Learning* est issu des sciences de l'informatique et a été conçu pour effectuer des prédictions à partir de données qui se basent notamment sur des statistiques et du forage de données [147]. Ruddy et al. ont récemment décrit cette méthode dans une revue narrative traitant des approches statistiques modélisant le risque de blessure sportive [148]. Des applications pratiques consacrées au domaine de la prévention lésionnelle ont d'ailleurs déjà été initiées et ont permis des avancées intéressantes [149-152,39]. D'un autre côté, Pol et al. [153] proposent d'utiliser la théorie des systèmes dynamiques (« *Dynamic Systems Theory* »), développée sur base de modèles mathématiques avancés et qui offre des principes, concepts et outils pour la compréhension et la modélisation de la nature complexe des blessures sportives. D'autres méthodes ont également été proposées, comme par exemple le *Agent-Based Modelling* [154-156] ou la *Classification and Regression Trees* (CART) [157,158], et sont susceptibles de faire avancer la recherche sur la prévention lésionnelle. La notion de travail en équipe pluridisciplinaire large, incluant des spécialistes en *data science*, représente assurément un élément indispensable dans l'optique de développements de ce type.

L'utilisation de critères objectifs à valider après une rupture du LCA est censée répondre à un double objectif : réduire le risque de récurrence et s'assurer du retour à un niveau de performance aussi élevé qu'avant la blessure. Parmi ces critères, l'aspect psychologique (appréhensions, émotions, estimation subjective du risque de récurrence) semble revêtir une importance potentiellement sous-estimée. À l'instar de certains auteurs [96,97], nous avons émis l'hypothèse que les facteurs psychologiques, évalués via le questionnaire ACL-RSI, seraient susceptibles de ne pas contribuer à remplir simultanément ces deux objectifs. Jusqu'à présent, les études prospectives de qualité se sont en effet attachées à vérifier de manière isolée soit l'association entre critères de RST et risque de récurrence [35,78,98], soit l'association entre

critères de RST et capacité à performer à un niveau identique comparativement à la période d'avant blessure [159]. Il nous semblerait donc judicieux de vérifier la compatibilité de ces deux objectifs en associant ces facteurs dans une étude prospective : un ressenti psychologique « excellent » (peu d'appréhensions et de craintes vis-à-vis du RST) représente-t-il à la fois un paramètre important pour retrouver une bonne capacité à performer et aussi pour éviter une récurrence ? Assurément, une taille d'échantillon particulièrement élevée représentera une condition essentielle pour la réussite d'un tel projet. Par ailleurs, la quasi-totalité des études pionnières sur le sujet des critères de RST s'est focalisée sur la rupture du LCA. Bien que l'engouement scientifique pour cette pathologie soit amplement justifié, il existe un nombre élevé de pathologies sportives pour lesquelles nous ne possédons à l'heure actuelle qu'une évidence scientifique très faible quant aux critères de RST. À titre d'exemple, le RST après entorse latérale de cheville, pathologie sportive la plus fréquente et dont l'incidence lésionnelle demeure nettement supérieure à la rupture du LCA, se base actuellement sur des critères de RST globalement empiriques qui ne découlent que de trop peu d'études prospectives de haute qualité [83,160]. Les données scientifiques sur les critères de RST après pathologies de surcharge comme les tendinopathies achilléennes ou patellaires ou encore le syndrome fémoro-patellaire apparaissent encore plus maigres [161]. Cette pauvreté pourrait notamment provenir de l'absence fréquente d'arrêt sportif complet dans le cadre de ces pathologies, ce qui rend plus complexe l'implémentation d'un continuum de RST avec, in fine, des critères objectifs de reprise sportive.

Enfin, l'étude 5 de cette thèse avait conclu, en accord avec la littérature existante [31,86,162], que les facteurs psychologiques représentaient un critère essentiel à prendre en compte avant le RST après rupture du LCA. L'importance de ces facteurs psychologiques n'a pu être mise en évidence que grâce au développement et à l'utilisation d'outils de type « questionnaires » permettant d'analyser finement ces paramètres. La disponibilité d'échelles spécifiques à une pathologie en question comme le ACL-RSI pour les ruptures du LCA [163] ou le *Shoulder Instability – Return to Sport after Injury* (SIRSI) pour les instabilités gléno-humérales [92] apparaît donc particulièrement précieuse. Développer un questionnaire similaire dédié à l'analyse précise des facteurs psychologiques après, par exemple, LIJ [27] ou entorse de cheville [83] pourrait dès lors contribuer à répondre aux besoins des thérapeutes de terrain en améliorant la prise en charge de patients touchés par ces blessures. Par ailleurs, une analyse

des relations entre les facteurs psychologiques d'une part, et les facteurs neuromusculaires, biomécaniques, ou encore fonctionnels d'autre part pourrait se révéler intéressante pour mieux comprendre les origines des craintes et appréhensions présentes chez certains patients après PLCA.

Références

1. Edouard P, Branco P, Alonso J-M. Muscle injury is the principal injury type and hamstring muscle injury is the first injury diagnosis during top-level international athletics championships between 2007 and 2015. *Br J Sports Med*. 2016 May;50(10):619–30.
2. Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*. 2011 Jun;39(6):1226–32.
3. Rekik RN, Tabben M, Eirale C, Landreau P, Bouras R, Wilson MG, et al. ACL injury incidence, severity and patterns in professional male soccer players in a Middle Eastern league. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2018;4(1):e000461.
4. Waldén M. Reflecting on the data patterns of 15 years: a future prediction for 2032. In: *The Future of Football Medicine*. Calzetti Mariucci Editori; 2017. p. 21. (International Conference on Sports Rehabilitation and Traumatology).
5. Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J. ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br J Sports Med*. 2016 Jun;50(12):744–50.
6. Ekeland A, Engebretsen L, Fenstad AM, Heir S. Similar risk of ACL graft revision for alpine skiers, football and handball players: the graft revision rate is influenced by age and graft choice. *Br J Sports Med*. 2020 Jan;54(1):33–7.
7. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. UEFA injury study--an injury audit of European Championships 2006 to 2008. *Br J Sports Med*. 2009 Jul;43(7):483–9.
8. Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. *Sports Med*. 2012 Mar 1;42(3):209–26.
9. Ardern CL. Anterior cruciate ligament reconstruction-not exactly a one-way ticket back to the preinjury level: a review of contextual factors affecting return to sport after surgery. *Sports Health*. 2015 May;7(3):224–30.
10. Read CR, Aune KT, Cain ELJ, Fleisig GS. Return to play and decreased performance after anterior cruciate ligament reconstruction in National Football League defensive players. *Am J Sports Med*. 2017 Jul;45(8):1815–21.
11. Mather RC 3rd, Koenig L, Kocher MS, Dall TM, Gallo P, Scott DJ, et al. Societal and economic impact of anterior cruciate ligament tears. *J Bone Joint Surg Am*. 2013 Oct 2;95(19):1751–9.
12. Poulsen E, Goncalves GH, Bricca A, Roos EM, Thorlund JB, Juhl CB. Knee osteoarthritis risk is increased 4-6 fold after knee injury - a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2019 Dec;53(23):1454–63.
13. Hickey J, Shield AJ, Williams MD, Opar DA. The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League. *Br J Sports Med*. 2014 Apr;48(8):729–30.
14. Loose O, Achenbach L, Fellner B, Lehmann J, Jansen P, Nerlich M, et al. Injury prevention and return to play strategies in elite football: no consent between players and team coaches. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018 Jul;138(7):985–92.
15. McCall A, Davison M, Andersen TE, Beasley I, Bizzini M, Dupont G, et al. Injury prevention strategies at the FIFA 2014 World Cup: perceptions and practices of the physicians from the 32 participating national teams. *Br J Sports Med*. 2015 May;49(9):603–8.
16. McCall A, Dupont G, Ekstrand J. Injury prevention strategies, coach compliance and player adherence of 33 of the UEFA Elite Club Injury Study teams: a survey of teams' head medical officers. *Br J Sports Med*. 2016 Jun;50(12):725–30.
17. Frank BS, Register-Mihalik J, Padua DA. High levels of coach intent to integrate a ACL injury prevention program into training does not translate to effective implementation. *J Sci Med Sport*. 2015 Jul;18(4):400–6.
18. Bahr R, Thorborg K, Ekstrand J. Evidence-based hamstring injury prevention is not adopted by the majority of Champions League or Norwegian Premier League football teams: the Nordic Hamstring survey. *Br J Sports Med*. 2015 Nov;49(22):1466–71.

19. Andersson SH, Bahr R, Olsen MJ, Myklebust G. Attitudes, beliefs, and behavior toward shoulder injury prevention in elite handball: Fertile ground for implementation. *Scand J Med Sci Sports*. 2019 Dec;29(12):1996–2009.
20. O'Brien J, Finch CF. Injury prevention exercise programmes in professional youth soccer: understanding the perceptions of programme deliverers. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2016;2(1):e000075.
21. Zech A, Wellmann K. Perceptions of football players regarding injury risk factors and prevention strategies. *PLoS One*. 2017;12(5):e0176829.
22. Meurer MC, Silva MF, Baroni BM. Strategies for injury prevention in Brazilian football: Perceptions of physiotherapists and practices of premier league teams. *Phys Ther Sport*. 2017 Nov;28:1–8.
23. O'Brien J, Finch CF. Injury prevention exercise programs for professional soccer: understanding the perceptions of the end-users. *Clin J Sport Med*. 2017 Jan;27(1):1–9.
24. van der Horst N, Hoef S van de, Otterloo P van, Klein M, Brink M, Backx F. Effective but not adhered to: how can we improve adherence to evidence-based hamstring injury prevention in amateur football? *Clin J Sport Med*. 2021 Jan;31(1):42–8.
25. Bekker S, Finch CF, O'Brien J. Infographics: Injury prevention exercise programmes: what are the perceptions of programme deliverers in the academy football setting? *Br J Sports Med*. 2019 Apr;53(7):402–3.
26. Van Crombrugge G, Duvivier BM, Van Crombrugge K, Bellemans J, Peers K. Hamstring injury prevention in Belgian and English elite football teams. *Acta Orthop Belg*. 2019 Sep;85(3):373–80.
27. van der Horst N, Backx F, Goedhart EA, Huisstede BM. Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. *Br J Sports Med*. 2017 Nov;51(22):1583–91.
28. van Melick N, van Cingel REH, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med*. 2016 Dec;50(24):1506–15.
29. Zambaldi M, Beasley I, Rushton A. Return to play criteria after hamstring muscle injury in professional football: a Delphi consensus study. *Br J Sports Med*. 2017 Aug;51(16):1221–6.
30. Bisciotti GN, Volpi P, Alberti G, Aprato A, Artina M, Auci A, et al. Italian consensus statement (2020) on return to play after lower limb muscle injury in football (soccer). *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2019;5(1):e000505.
31. Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *Br J Sports Med*. 2016 Jul;50(14):853–64.
32. Lynch AD, Logerstedt DS, Grindem H, Eitzen I, Hicks GE, Axe MJ, et al. Consensus criteria for defining 'successful outcome' after ACL injury and reconstruction: a Delaware-Oslo ACL cohort investigation. *Br J Sports Med*. 2015 Mar;49(5):335–42.
33. Meredith SJ, Rauer T, Chmielewski TL, Fink C, Diermeier T, Rothrauff BB, et al. Return to sport after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL injury return to sport consensus group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020 Aug;28(8):2403–14.
34. Dingenen B, Gokeler A. Optimization of the return-to-sport paradigm after anterior cruciate ligament reconstruction: a critical step back to move forward. *Sports Med*. 2017 Aug;47(8):1487–500.
35. Kyrisis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med*. 2016 Aug;50(15):946–51.
36. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*. 2008 Aug;36(8):1469–75.

37. Lee JWY, Mok K-M, Chan HCK, Yung PSH, Chan K-M. Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *J Sci Med Sport*. 2018 Aug;21(8):789–93.
38. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med*. 2003 Feb;31(1):41–6.
39. López-Valenciano A, Ayala F, Puerta JosM, De Ste Croix MBA, Vera-Garcia FJ, Hernández-Sánchez S, et al. A preventive model for muscle injuries: a novel approach based on learning algorithms. *Med Sci Sports Exerc*. 2018 May;50(5):915–27.
40. Read PJ, Oliver JL, Myer GD, Farooq A, De Ste Croix M, Lloyd RS. Utility of the anterior reach Y-BALANCE test as an injury risk screening tool in elite male youth soccer players. *Phys Ther Sport*. 2020 Sep;45:103–10.
41. Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med*. 2007 Jul;35(7):1123–30.
42. Padua DA, DiStefano LJ, Beutler AI, de la Motte SJ, DiStefano MJ, Marshall SW. The Landing Error Scoring System as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *J Athl Train*. 2015 Jun;50(6):589–95.
43. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RSJ, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med*. 2005 Apr;33(4):492–501.
44. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, Hickey J, Duhig SJ, Shield AJ. Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. *Med Sci Sports Exerc*. 2015 Apr;47(4):857–65.
45. Yeung SS, Suen AMY, Yeung EW. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br J Sports Med*. 2009 Aug;43(8):589–94.
46. Bourne MN, Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Eccentric knee flexor strength and risk of hamstring injuries in Rugby Union: a prospective study. *Am J Sports Med*. 2015 Nov;43(11):2663–70.
47. van Dyk N, Bahr R, Whiteley R, Tol JL, Kumar BD, Hamilton B, et al. Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study. *Am J Sports Med*. 2016 Jul;44(7):1789–95.
48. van Dyk N, Bahr R, Burnett AF, Whiteley R, Bakken A, Mosler A, et al. A comprehensive strength testing protocol offers no clinical value in predicting risk of hamstring injury: a prospective cohort study of 413 professional football players. *Br J Sports Med*. 2017 Dec;51(23):1695–702.
49. Bakken A, Targett S, Bere T, Eirale C, Farooq A, Mosler AB, et al. Muscle strength is a poor screening test for predicting lower extremity injuries in professional male soccer players: a 2-year prospective cohort study. *Am J Sports Med*. 2018 May;46(6):1481–91.
50. Bakken A, Targett S, Bere T, Eirale C, Farooq A, Tol JL, et al. The functional movement test 9+ is a poor screening test for lower extremity injuries in professional male football players: a 2-year prospective cohort study. *Br J Sports Med*. 2018 Aug;52(16):1047–53.
51. van Dyk N, Farooq A, Bahr R, Witvrouw E. Hamstring and ankle flexibility deficits are weak risk factors for hamstring injury in professional soccer players: a prospective cohort study of 438 players including 78 injuries. *Am J Sports Med*. 2018 Jul;46(9):2203–10.
52. Krosshaug T, Steffen K, Kristianslund E, Nilstad A, Mok K-M, Myklebust G, et al. The vertical drop jump is a poor screening test for ACL injuries in female elite soccer and handball players: a prospective cohort study of 710 athletes. *Am J Sports Med*. 2016 Apr;44(4):874–83.
53. Zvijac JE, Toriscelli TA, Merrick S, Kiebzak GM. Isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength variables from the NFL Scouting Combine are not predictive of hamstring injury in first-year professional football players. *Am J Sports Med*. 2013 Jul;41(7):1511–8.
54. O'Connor S, McCaffrey N, Whyte EF, Fop M, Murphy B, Moran KA. Is poor hamstring flexibility a risk factor for hamstring injury in Gaelic Games? *J Sport Rehabil*. 2019 Feb 14;1–5.

55. Bahr R. Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will....: a critical review. *Br J Sports Med.* 2016 Jul;50(13):776–80.
56. van Dyk N, Clarsen B. Prevention forecast: cloudy with a chance of injury. *Br J Sports Med.* 2017 Dec;51(23):1646–7.
57. Verhagen E, van Dyk N, Clark N, et al. Do not throw the baby out with the bathwater; screening can identify meaningful risk factors for sports injuries. *Br J Sports Med.* 2018 Oct;52(19):1223–4.
58. McCunn R, Aus der Fünten K, Fullagar HHK, McKeown I, Meyer T. Reliability and association with injury of movement screens: a critical review. *Sports Med* 2016 Jun;46(6):763–81.
59. McCunn R, Meyer T. Screening for risk factors: if you liked it then you should have put a number on it. *Br J Sports Med* 2016 Nov;50(21):1354.
60. Clarsen B, Moseby Berge H. Screening is dead. Long live screening! *Br J Sports Med* 2016 Jul;50(13):769.
61. Fuller CW. Assessing the return on investment of injury prevention procedures in professional football. *Sports Med.* 2019 Apr;49(4):621–9.
62. Haroy J, Clarsen B, Wiger EG, Oyen MG, Serner A, Thorborg K, et al. The Adductor Strengthening Programme prevents groin problems among male football players: a cluster-randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 201Feb;53(3):150–7.
63. Bizzini M, Dvorak J. FIFA 11+: an effective programme to prevent football injuries in various player groups worldwide-a narrative review. *Br J Sports Med.* 2015 May;49(9):577–9.
64. van der Horst N, Smits D-W, Petersen J, Goedhart EA, Backx FJG. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2015 Jun;43(6):1316–23.
65. Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of injury prevention programs that include the nordic hamstring exercise on hamstring injury rates in soccer players: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2017 May;47(5):907–16.
66. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jorgensen E, Holmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2011 Nov;39(11):2296–303.
67. Ribeiro-Alvares JB, Marques VB, Vaz MA, Baroni BM. Four weeks of nordic hamstring exercise reduce muscle injury risk factors in young adults. *J Strength Cond Res.* 2018 May;32(5):1254–62.
68. Guex KJ, Lugrin V, Borloz S, Millet GP. Influence on strength and flexibility of a swing phase-specific hamstring eccentric program in sprinters' general preparation. *J Strength Cond Res.* 2016 Feb;30(2):525–32.
69. Oakley AJ, Jennings J, Bishop CJ. Holistic hamstring health: not just the Nordic hamstring exercise. *Br J Sports Med.* 2018 Jul;52(13):816–7.
70. Guex K, Millet GP. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports Med.* 2013 Dec;43(12):1207–15.
71. Askling CM, Tengvar M, Tarassova O, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med.* 2014 Apr;48(7):532–9.
72. Tyler TF, Schmitt BM, Nicholas SJ, McHugh MP. Rehabilitation after hamstring-strain injury emphasizing eccentric strengthening at long muscle lengths: results of long-term follow-up. *J Sport Rehabil.* 2017 Apr;26(2):131–40.
73. Mjolsnes R, Arnason A, Osthaugen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2004 Oct;14(5):311–7.
74. Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports.* 2003 Aug;13(4):244–50.
75. Iga J, Fruer CS, Deighan M, Croix MDS, James DVB. 'Nordic' hamstrings exercise - engagement characteristics and training responses. *Int J Sports Med.* 2012 Dec;33(12):1000–4.

76. Kaminski TW, Wabbersen CV, Murphy RM. Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *J Athl Train*. 1998 Jul;33(3):216–21.
77. Croisier J-L, Forthomme B, Namurois M-H, Vanderthommen M, Crielaard J-M. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med*. 2002 Apr;30(2):199–203.
78. Graziano J, Chiaia T, de Mille P, Nawabi DH, Green DW, Cordasco FA. Return to sport for skeletally immature athletes after ACL reconstruction: preventing a second injury using a quality of movement assessment and quantitative measures to address modifiable risk factors. *Orthop J Sports Med*. 2017 Apr;5(4):2325967117700599.
79. Burgi CR, Peters S, Ardern CL, Magill JR, Gomez CD, Sylvain J, et al. Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. *Br J Sports Med*. 2019 Sep;53(18):1154–61.
80. Hickey JT, Timmins RG, Maniar N, Williams MD, Opar DA. Criteria for progressing rehabilitation and determining return-to-play clearance following hamstring strain injury: a systematic review. *Sports Med*. 2017 Jul;47(7):1375–87.
81. Kaplan Y, Witvrouw E. When is it safe to return to sport after ACL reconstruction? Reviewing the criteria. *Sports Health*. 2019 Aug;11(4):301–5.
82. Ciccotti MC, Syed U, Hoffman R, Abboud JA, Ciccotti MG, Freedman KB. return to play criteria following surgical stabilization for traumatic anterior shoulder instability: a systematic review. *Arthroscopy*. 2018 Mar;34(3):903–13.
83. Tassignon B, Verschueren J, Delahunt E, Smith M, Vicenzino B, Verhagen E, et al. Criteria-based return to sport decision-making following lateral ankle sprain injury: a systematic review and narrative synthesis. *Sports Med*. 2019 Apr;49(4):601–19.
84. Toohey LA, Drew MK, Cook JL, Finch CF, Gaida JE. Is subsequent lower limb injury associated with previous injury? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017 Dec;51(23):1670–8.
85. Hagglund M, Walden M, Ekstrand J. Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA Injury Study. *Am J Sports Med*. 2013 Feb;41(2):327–35.
86. Forsdyke D, Gledhill A, Ardern C. Psychological readiness to return to sport: three key elements to help the practitioner decide whether the athlete is REALLY ready? *Br J Sports Med*. 2017 Apr;51(7):555–6.
87. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE. Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med*. 2013 Jul;41(7):1549–58.
88. Muller U, Kruger-Franke M, Schmidt M, Rosemeyer B. Predictive parameters for return to pre-injury level of sport 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015 Dec;23(12):3623–31.
89. Langford JL, Webster KE, Feller JA. A prospective longitudinal study to assess psychological changes following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Br J Sports Med*. 2009 May;43(5):377–81.
90. Paterno MV, Flynn K, Thomas S, Schmitt LC. Self-reported fear predicts functional performance and second ACL injury after ACL reconstruction and return to sport: a pilot study. *Sports Health*. 2018 Jun;10(3):228–33.
91. Bohu Y, Klouche S, Lefevre N, Webster K, Herman S. Translation, cross-cultural adaptation and validation of the French version of the Anterior Cruciate Ligament-Return to Sport after Injury (ACL-RSI) scale. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015 Apr;23(4):1192–6.
92. Gerometta A, Klouche S, Herman S, Lefevre N, Bohu Y. The Shoulder Instability-Return to Sport after Injury (SIRSI): a valid and reproducible scale to quantify psychological readiness to return to sport after traumatic shoulder instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018 Jan;26(1):203–11.
93. Glazer DD. Development and preliminary validation of the Injury-Psychological Readiness to Return to Sport (I-PRRS) scale. *J Athl Train*. 2009 Apr;44(2):185–9.

94. Walker N, Thatcher J, Lavallee D. A preliminary development of the Re-Injury Anxiety Inventory (RIAI). *Phys Ther Sport*. 2010 Feb;11(1):23–9.
95. O'Connor RF, King E, Richter C, Webster KE, Falvey ÉC. No Relationship between strength and power scores and Anterior Cruciate Ligament Return to Sport After Injury Scale 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2020 Jan;48(1):78–84.
96. Webster KE, Nagelli CV, Hewett TE, Feller JA. Factors associated with psychological readiness to return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med*. 2018 Jun;46(7):1545–50.
97. Feller JA, Webster KE. Where are we with return-to-sport testing following ACL reconstruction? *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019 Oct;105(6):1037–8.
98. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med*. 2016 Jul;50(13):804–8.
99. Zadro JR, Pappas E. Time for a different approach to anterior cruciate ligament injuries: educate and create realistic expectations. *Sports Med*. 2019 Mar;49(3):357–63.
100. Green B, Bourne MN, Pizzari T. Isokinetic strength assessment offers limited predictive validity for detecting risk of future hamstring strain in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2018 Mar;52(5):329–36.
101. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Ferreol S, Dubois C. Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2016 Mar;6(1):116–23.
102. Eynon N, Hanson ED, Lucia A, Houweling PJ, Garton F, North KN, et al. Genes for elite power and sprint performance: ACTN3 leads the way. *Sports Med*. 2013 Sep;43(9):803–17.
103. Weyerstraß J, Stewart K, Wesselius A, Zeegers M. Nine genetic polymorphisms associated with power athlete status - A Meta-Analysis. *J Sci Med Sport*. 2018 Feb;21(2):213–20.
104. McErlain-Naylor S, King M, Pain MTG. Determinants of countermovement jump performance: a kinetic and kinematic analysis. *J Sports Sci*. 2014;32(19):1805–12.
105. de Ruiter CJ, Van Leeuwen D, Heijblom A, Bobbert MF, de Haan A. Fast unilateral isometric knee extension torque development and bilateral jump height. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Oct;38(10):1843–52.
106. Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*. 2004 Jun;38(3):285–8.
107. McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. 2011 Feb;25(2):379–85.
108. Vanezis A, Lees A. A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*. 2005 Nov 15;48(11–14):1594–603.
109. Sugiura Y, Saito T, Sakuraba K, Sakuma K, Suzuki E. Strength deficits identified with concentric action of the hip extensors and eccentric action of the hamstrings predispose to hamstring injury in elite sprinters. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2008 Aug;38(8):457–64.
110. Markovic G, Šarabon N, Pausic J, Hadžić V. Adductor muscles strength and strength asymmetry as risk factors for groin injuries among professional soccer players: a prospective study. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jul 9;17(14).
111. Matheson GO, Shultz R, Bido J, Mitten MJ, Meeuwisse WH, Shrier I. Return-to-play decisions: are they the team physician's responsibility? *Clin J Sport Med*. 2011 Jan;21(1):25–30.
112. Shrier I. Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making. *Br J Sports Med*. 2015 Oct;49(20):1311–5.
113. van Dyk N, Behan FP, Whiteley R. Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. *Br J Sports Med*. 2019 Nov;53(21):1362–70.

114. Thorborg K, Krommes KK, Esteve E, Clausen MB, Bartels EM, Rathleff MS. Effect of specific exercise-based football injury prevention programmes on the overall injury rate in football: a systematic review and meta-analysis of the FIFA 11 and 11+ programmes. *Br J Sports Med*. 2017 Apr;51(7):562–71.
115. O’Sullivan K, McAuliffe S, Deburca N. The effects of eccentric training on lower limb flexibility: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2012 Sep;46(12):838–45.
116. Nelson RT. A Comparison of the Immediate Effects of eccentric training vs static stretch on hamstring flexibility in high school and college athletes. *N Am J Sports Phys Ther*. 2006 May;1(2):56–61.
117. Nelson RT, Bandy WD. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athl Train*. 2004 Sep;39(3):254–8.
118. Slagters AJ, van den Akker-Scheek I, Geertzen JHB, Zwerver J, Reininga IHF. Responsiveness of the Anterior Cruciate Ligament - Return to Sports after Injury (ACL-RSI) and Injury - Psychological Readiness to Return to Sport (I-PRRS) scales. *J Sports Sci*. 2019 Nov;37(21):2499–505.
119. George SZ, Lentz TA, Zeppieri G, Lee D, Chmielewski TL. Analysis of shortened versions of the Tampa scale for kinesiophobia and pain catastrophizing scale for patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Pain*. 2012 Jan;28(1):73–80.
120. Nwachukwu BU, Adjei J, Rauck RC, Chahla J, Okoroha KR, Verma NN, et al. How much do psychological factors affect lack of return to play after anterior cruciate ligament reconstruction? a systematic review. *Orthop J Sports Med*. 2019 May;7(5):2325967119845313.
121. Vereijken A, Aerts I, van Trijffel E, Meeusen R. Translation and validation of the Dutch Injury Psychological Readiness to Return to Sport scale (I-PRRS). *Int J Sports Phys Ther*. 2019 Sep;14(5):785–93.
122. Jones DM, Webster KE, Crossley KM, Ackerman IN, Hart HF, Singh PJ, et al. Psychometric properties of the HIP-Return to Sport after Injury scale (short form) for evaluating psychological readiness to return to sports after arthroscopic hip surgery. *Am J Sports Med*. 2020 Feb;48(2):376–84.
123. Meierbachtol A, Yungtum W, Paur E, Bottoms J, Chmielewski TL. Psychological and functional readiness for sport following advanced group training in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2018 Nov;48(11):864–72.
124. Burland JP, Toonstra JL, Howard JS. Psychosocial barriers after anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical review of factors influencing postoperative success. *Sports Health*. 2019 Dec;11(6):528–34.
125. Gomes Neto M, Conceição CS, de Lima Brasileiro AJA, de Sousa CS, Carvalho VO, de Jesus FLA. Effects of the FIFA 11 training program on injury prevention and performance in football players: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2017 May;31(5):651–9.
126. Owosye OBA, Akinbo SRA, Tella BA, Olawale OA. Efficacy of the FIFA 11+ Warm-up programme in male youth football: a cluster randomised controlled trial. *J Sports Sci Med*. 2014 May;13(2):321–8.
127. Soligard T, Nilstad A, Steffen K, Myklebust G, Holme I, Dvorak J, et al. Compliance with a comprehensive warm-up programme to prevent injuries in youth football. *Br J Sports Med*. 2010 Sep;44(11):787–93.
128. Steffen K, Emery CA, Romiti M, Kang J, Bizzini M, Dvorak J, et al. High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: a cluster randomised trial. *Br J Sports Med*. 2013 Aug;47(12):794–802.
129. Silvers-Granelli HJ, Bizzini M, Arundale A, Mandelbaum BR, Snyder-Mackler L. Does the FIFA 11+ injury prevention program reduce the incidence of acl injury in male soccer players? *Clin Orthop Relat Res*. 2017 Oct;475(10):2447–55.
130. Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O, Insler S, Bizzini M, Pohlig R, et al. Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. *Am J Sports Med*. 2015 Nov;43(11):2628–37.

131. Silvers-Granelli HJ, Bizzini M, Arundale A, Mandelbaum BR, Snyder-Mackler L. Higher compliance to a neuromuscular injury prevention program improves overall injury rate in male football players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018 Jul;26(7):1975–83.
132. Hagglund M, Atroshi I, Wagner P, Walden M. Superior compliance with a neuromuscular training programme is associated with fewer ACL injuries and fewer acute knee injuries in female adolescent football players: secondary analysis of an RCT. *Br J Sports Med.* 2013 Oct;47(15):974–9.
133. van Reijen M, Vriend I, van Mechelen W, Finch CF, Verhagen EA. Compliance with sport injury prevention interventions in randomised controlled trials: a systematic review. *Sports Med.* 2016 Aug;46(8):1125–39.
134. Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of injuries among male soccer players: a prospective, randomized intervention study targeting players with previous injuries or reduced function. *Am J Sports Med.* 2008 Jun;36(6):1052–60.
135. Bourne MN, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, Kerr GK, Shield AJ. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *Br J Sports Med.* 2017 Jul;51(13):1021–8.
136. Read PJ, Jimenez P, Oliver JL, Lloyd RS. Injury prevention in male youth soccer: Current practices and perceptions of practitioners working at elite English academies. *J Sports Sci.* 2018 Jun;36(12):1423–31.
137. Drew MK, Finch CF. The relationship between training load and injury, illness and soreness: a systematic and literature review. *Sports Med.* 2016 Jun;46(6):861–83.
138. Bengtsson H, Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. Muscle injury rate in professional football is higher in matches played within 5 days since the previous match: a 14-year prospective study with more than 130 000 match observations. *Br J Sports Med.* 2018 Sep;52(17):1116–22.
139. Bowen L, Gross AS, Gimpel M, Bruce-Low S, Li F-X. Spikes in acute: chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5–7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study. *Br J Sports Med.* 2020 Jun;54(12):731–8.
140. Edouard P, Mendiguchia J, Guex K, lahti J, Samozino P, Morin J-B. Sprinting: a potential vaccine for hamstring injury. *Sport Perf Sci Rep.* 2019 Jan;48:1.
141. Malone S, Roe M, Doran DA, Gabbett TJ, Collins K. High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *J Sci Med Sport.* 2017 Mar;20(3):250–4.
142. Malone S, Owen A, Mendes B, Hughes B, Collins K, Gabbett TJ. High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *J Sci Med Sport.* 2018 Mar;21(3):257–62.
143. Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Idoate F, Myer GD. Rectus femoris muscle injuries in football: a clinically relevant review of mechanisms of injury, risk factors and preventive strategies. *Br J Sports Med.* 2013 Apr;47(6):359–66.
144. Bolling C, van Mechelen W, Pasman HR, et al. Context matters: revisiting the first step of the 'sequence of prevention' of sports injuries. *Sports Med.* 2018 Oct;48(10):2227–34.
145. Bittencourt NFN, Meeuwisse WH, Mendonca LD, Nettel-Aguirre A, Ocarino JM, Fonseca ST. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition-narrative review and new concept. *Br J Sports Med.* 2016 Nov;50(21):1309–14.
146. Fonseca ST, Souza TR, Verhagen E, van Emmerik R, Bittencourt NFN, Mendonça LD et al. Sports injury forecasting and complexity: a synergetic approach. *Sports Med.* 2020 Oct;50(10):1757–70.
147. Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. *The elements of statistical learning.* New York (USA), Springer 2001.
148. Ruddy JD, Cormack SJ, Whiteley R, Williams MD, Timmins RD, Opar DA. Modeling the risk of team sport injuries: a narrative review of different statistical approaches. *Front Physiol.* 2019 Jul;10:829.
149. Rossi A, Pappalardo L, Cintia P, Iaia FM, Fernandez J, Medina D. Effective injury forecasting in soccer with GPS training data and machine learning. *PLoS One.* 2018 Jul;13(7):e0201264.

150. Jauhiainen S, Kauppi J-P, Leppänen M, Pasanen K, Parkkari J, Vasankari T et al. New Machine Learning approach for detection of injury risk factors in young team sport athletes. *Int J Sports Med.* 2021 Feb;42:175–82.
151. Ayala F, López-Valenciano A, Gámez Martín JA, De Ste Croix M, Vera-García F, Ruiz-Pérez I et al. A preventive model for hamstring injuries in professional soccer: learning algorithms. *Int J Sports Med.* 2019 May;40(5):344–53.
152. Karnuta JM, Luu BC, Haeberle HS, Saluan PM, Frangiamore SJ, Stearns KL et al. Machine Learning outperforms regression analysis to predict next-season Major League Baseball player injuries: epidemiology and validation of 13,982 player-years from performance and injury profile trends, 2000-2017. *Orthop J Sports Med.* 2020 Nov 11;8(11):2325967120963046.
153. Pol R, Hristovski R, Medina D, Balague N. From microscopic to macroscopic sports injuries. Applying the complex dynamic systems approach to sports medicine: a narrative review. *Br J Sports Med.* 2019 Oct;53(19):1214–20.
154. Hulme A, Thompson J, Nielsen RO, Read GJM, Salmon PM. Towards a complex systems approach in sports injury research: simulating running-related injury development with agent-based modelling. *Br J Sports Med.* 2019 May;53(9):560–9.
155. Hulme A, Finch CF. From monocausality to systems thinking: a complementary and alternative conceptual approach for better understanding the development and prevention of sports injury. *Inj Epidemiol.* 2015 Dec;2(1):31.
156. Quatman CE, Quatman CC, Hewett TE. Prediction and prevention of musculoskeletal injury: a paradigm shift in methodology. *Br J Sports Med.* 2009 Dec;43(14):1100–7.
157. Auchincloss AH, Diez Roux AV. A new tool for epidemiology: the usefulness of dynamic-agent models in understanding place effects on health. *Am J Epidemiol.* 2008 Jul;168(1):1–8.
158. Bittencourt NFN, Ocarino JM, Mendonça LDM, Hewett TE, Fonseca ST. Foot and hip contributions to high frontal plane knee projection angle in athletes: a classification and regression tree approach. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012 Dec;42(12):996–1004.
159. Nawasreh Z, Logerstedt D, Cummer K, Axe M, Risberg MA, Snyder-Mackler L. Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in the same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery. *Br J Sports Med.* 2018 Mar;52(6):375.
160. Wikstrom EA, Mueller C, Cain MS. Lack of consensus on return to sport criteria following lateral ankle sprain: a systematic review of expert opinions. *J Sport Rehabil.* 2019 May;29:1–20.
161. Habets B, van den Broek AG, Huisstede BMA, Backx FJG, van Cingel REH. Return to sport in athletes with midportion achilles tendinopathy: a qualitative systematic review regarding definitions and criteria. *Sports Med.* 2018 Mar;48(3):705–23.
162. McPherson AL, Feller JA, Hewett TE, Webster KE. Psychological readiness to return to sport is associated with second anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med.* 2019 Mar;47(4):857–62.
163. Webster KE, Feller JA, Lambros C. Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Phys Ther Sport.* 2008 Feb;9(1):9–15.

CONCLUSION

Ce travail de thèse présente plusieurs résultats contribuant à améliorer nos connaissances sur la prévention lésionnelle, en particulier pour ce qui concerne la lésion musculaire des ischio-jambiers et la rupture du ligament croisé antérieur.

Les éléments suivants ont été relevés au travers de diverses études :

- Les pratiques préventives mises en place au quotidien par les acteurs de terrain (médecins, entraîneurs) ne semblent pas toujours correspondre aux recommandations scientifiques sur le sujet, avec des disparités parfois importantes selon les acteurs ;
- L'implémentation d'un programme court, simple et sans matériel de renforcement excentrique des ischio-jambiers permet d'améliorer de manière significative la force excentrique de groupe musculaire, le ratio mixte et la souplesse passive, cités comme facteurs de risque de lésion des muscles ischio-jambiers ;
- Une large batterie de tests réalisée 6 mois après plastie du LCA permet d'identifier les sujets à probabilité élevée ou réduite de retour au sport à un niveau de performance similaire à la période d'avant blessure. L'aspect psychologique (craintes, émotions, risque subjectif de récurrence) représente le facteur le plus prédictif ;
- Parmi une population de footballeurs élités avec antécédents de blessure, l'isocinétisme s'est révélé être l'outil le plus discriminant pour mettre en évidence des différences bilatérales persistantes de performances.

Ces résultats permettent d'ouvrir la porte à des applications pratiques concrètes en termes de mesures préventives au quotidien sur les terrains de sport.

Nous mesurons naturellement l'étendue des progrès à encore effectuer ...

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Liste des publications en auteur principal

F. Delvaux, P. Rochcongar, J.-M. Ferret, J.-F. Kaux, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. La lésion musculaire des ischio-jambiers. 2013; In : Prévention des troubles musculo-squelettiques chez le sportif ; Ed. Sauramps Médical.

F. Delvaux, P. Rochcongar, O. Bruyère, G. Bourlet, C. Daniel, P. Diverse, J.-Y. Reginster, J.-L. Croisier. Return-to-play criteria after hamstring injury: actual medicine practice in professional soccer teams. Journal of Sports Science and Medicine. 2014 Sep;13(3):721-3.

F. Delvaux, J.-L. Croisier, J.-F. Kaux. Quand autoriser la reprise sportive après blessure ? Une décision qui mérite réflexion. Ortho Rhumato. 2014 Oct;12(5):3-4.

F. Delvaux, P. Rochcongar, O. Bruyère, C. Daniel, J.-Y. Reginster, J.-L. Croisier. Retour au sport après plastie du Ligament Croisé Antérieur : critères utilisés dans les clubs professionnels de football. Science & Sports. 2015 Feb;30(1):33-40.

F. Delvaux, J.-L. Croisier, J.-F. Kaux. The challenge of Return-to-Play decision after anterior cruciate ligament reconstruction. Journal of Pain and Relief. 2016;4:e120.

F. Delvaux, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. Les lésions musculaires des membres inférieurs : facteurs de risque et stratégies préventives. Science & Sports. 2017 Sep;32(4):179-190.

F. Delvaux, J.-F. Kaux, B. Forthomme, J.-L. Croisier. La prévention des blessures sportives : modèles théoriques et éléments-clés d'une stratégie efficace. Journal de Traumatologie du Sport. 2018 Oct;35(3):152-157.

F. Delvaux, J.-L. Croisier, D. Sanfilippo, A. Gofflot, C. Tooth, J.-F. Kaux, B. Forthomme. Prévention de blessures et triathlon. Journal de Traumatologie du Sport. 2019 Sep;36(3):147-152.

F. Delvaux, C. Schwartz, T. Decréquy, T. Devalckeneer, J. Paulus, S. Bornheim, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. Influence of a field hamstring eccentric training on muscle strength and flexibility. International Journal Of Sports Medicine. 2020 Apr;41(4):233-241.

F. Delvaux, C. Schwartz, C. Rodriguez, B. Forthomme, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. Preseason assessment of anaerobic performance in elite soccer players: comparison of isokinetic and functional tests. Sports Biomechanics. 2020 May 28; 1-15.

F. Delvaux, N. Dardenne, C. Schwartz, S. Bornheim, J.-F. Kaux, C. Daniel, R. Seil, J.-L. Croisier. *Psychological readiness is the best predictor of return to sport to the preinjury level after ACL reconstruction. Soumis.*

F. Delvaux, C. Schwartz, J.-F. Kaux, G. Berwart, J.-L. Losfeld, X. Donnay, T. Siquet, D. Boccar, J.-L. Croisier. *Stratégies de prévention de blessures : les entraîneurs de football en tant qu'acteurs. En cours de finalisation.*

Liste des publications en co-auteur

J.-L. Croisier, **F. Delvaux**, J.-F. Kaux, M. Julia, J.-M. Crielaard, B. Forthomme. L'équilibre de force musculaire agonistes/antagonistes. 2013; In : Prévention des troubles musculo-squelettiques chez le sportif ; Ed. Sauramps Médical.

B. Forthomme, S. Gleizes-Cervera, **F. Delvaux**, J.-F. Kaux, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. Approche préventive de la lésion d'épaule chez le sportif. 2013; In : Prévention des troubles musculo-squelettiques chez le sportif ; Ed. Sauramps Médical.

J.-F. Kaux, **F. Delvaux**, B. Forthomme, N. Massart, C. Daniel, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. Les facteurs de risque de rupture du ligament croisé antérieur du genou : l'état neuro-musculaire. Journal de Traumatologie du Sport. 2013 Dec;30(4):248-252.

J.-F. Kaux, M. Julia, M. Chupin, **F. Delvaux**, J.-L. Croisier, B. Forthomme, J.-M. Crielaard, C. Le Goff, P. Durez, P. Ernst, S. Guns, A. Laly. Revue épidémiologique des blessures lors de la pratique du rugby à XV. Journal de Traumatologie du Sport. 2014 Mar;31(1):49-53.

J.-F. Kaux, B. Forthomme, M.-H. Namurois, P. Bauvir, N. Defawe, **F. Delvaux**, C. Lehance, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. Description of a standardized rehabilitation program based on sub-maximal eccentric following a platelet-rich plasma infiltration for jumper's knee. Muscles, Ligaments and Tendon Journal. 2014 May;4(1):85-89.

J.-F. Kaux, S. Hody, **F. Delvaux**, B. Forthomme, C. le Goff, N. Massart, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. The eccentric intervention for prevention: muscle and tendon aspects. European Journal of Sports Medicine. 2014 Oct;1(2):37-46.

J.-F. Kaux, M. Julia, **F. Delvaux**, J.-L. Croisier, B. Forthomme, D. Monnot, M. Chupin, J.-M. Crielaard, C. Le Goff, P. Durez, P. Ernst, S. Guns, A. Laly. Epidemiological review of injuries in Rugby Union. Sports. 2015 Mar;3(1):21-29.

P. Bauvir, J.-F. Kaux, L. Pondant, D. Colman, V. Couffignal, **F. Delvaux**, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. Influence du Kinesiotape® sur les performances musculaires des ischio-jambiers. Journal de Traumatologie du Sport. 2015 Sep;32(3):110-115.

J.-F. Kaux, M. Julia, **F. Delvaux**, M.-E. Denis, D. Monnot, A. Laly. Traumatologie du rugby à VII. Journal de Traumatologie du Sport. 2016 Feb;31(1):1-5.

J.-F. Kaux, J. Schaus, **F. Delvaux**, B. Forthomme, M. Joris, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. Traumatologie du joueur de tennis. Journal de Traumatologie du Sport. 2016 Mar;33(1):44-47.

C. Demoulin, S. Wolfs, M. Chevalier, C. Granado, N. Roussel, S. Grosdent, Y. Depas, R. Hage, **F. Delvaux**, F. Absil, J.-M. Crielaard, M. Vanderthommen. Comparaison de l'efficacité de deux programmes d'étirements des ischio-jambiers au suivi à deux mois. Mains Libres. 2016 Mar;1:19-25.

J.-F. Kaux, **F. Delvaux**, J. Oppong-Kyei, C. Beaudart, F. Buckinx, V. Bartsch, O. Bruyère. Adaptation transculturelle et validation des questionnaires VISA-A et VISA-P en français. Science & Sports. 2016 Apr;31(2):65-72.

J.-F. Kaux, **F. Delvaux**, J. Oppong-Kyei, C. Beaudart, F. Buckinx, J.-L. Croisier, B. Forthomme, J.-M. Crielaard, O. Bruyère. Cross-cultural adaptation and validation of the VISA-P questionnaire for French-

speaking patients with patellar tendinopathy. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2016 May;46(5):384-393.

J.-F. Kaux, **F. Delvaux**, J. Schaus, C. Demoulin, M. Locquet, F. Buckinx, C. Beudart, N. Dardenne, J. van Beveren, J.-L. Croisier, B. Forthomme, O. Bruyère. Cross-cultural adaptation and validation of the Patient-Rated Tennis Elbow Evaluation (PRTEE) questionnaire on lateral elbow tendinopathy for French-speaking patients. *Journal of Hand Therapy*. 2016 Oct;29(4):496-504.

J.-F. Kaux, **F. Delvaux**, J. Oppong-Kyei, N. Dardenne, C. Beudart, F. Buckinx, J.-L. Croisier, B. Forthomme, J.-M. Crielaard, O. Bruyère. Validity and reliability of the French version of the VISA-A questionnaire for Achilles tendinopathy. *Disability and Rehabilitation*. 2016 Dec;38(26):2593-2599.

J.-F. Kaux, M. Roberjot, **F. Delvaux**, C. Lehance, J.-L. Croisier, L. Stevens, B. Van den Bulck B., T. Petit, P. Cornia, B. Forthomme. Traumatologie des sports olympiques de ballon en salle. Partie 1 : le basketball. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2017 Jun;34(2):108-113.

J.-F. Kaux, M. Roberjot, **F. Delvaux**, C. Lehance, J.-L. Croisier, T. Pennelle, J. Vandeberg, M. Meex, B. Forthomme. Traumatologie des sports olympiques de ballon en salle. Partie 2 : le handball. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2017 Sep;34(3):172-176.

J.-F. Kaux, M. Roberjot, **F. Delvaux**, C. Lehance, J.-L. Croisier, L. Stevens, B. Van den Bulck B., T. Petit, P. Cornia, T. Pennelle, J. Vandeberg, M. Meex, P. Jaros, B. Forthomme. Traumatologie des sports olympiques de ballon en salle. Partie 3 : le volleyball et comparaison des trois sports. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2017 Dec;34(4):217-222.

T. Duval, C. Lehance, J.-L. Croisier, **F. Delvaux**, C. Daniel, J.-Y. Duval, J.-F. Kaux. Impact d'une réathlétisation précoce sur les performances des sportifs amateurs opérés d'une rupture du ligament croisé antérieur du genou. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2017 Dec;34(4):203-207.

J.-L. Croisier, M. Leroy, N. Defawe, **F. Delvaux**, B. Forthomme, J.-F. Kaux. Pubalgie et isocinétisme de hanche. 2018; In : La pubalgie : actualités diagnostiques et thérapeutiques ; Ed. Sauramps Médical.

B. Forthomme, J.-L. Croisier, **F. Delvaux**, J.-F. Kaux, J.-M. Crielaard, S. Gleizes-Cervera. Preseason strength assessment of the rotator muscles and shoulder injury in handball players. *Journal of Athletic Training*. 2018 Feb;53(2):174-180.

B. Maillard, **F. Delvaux**, J.-L. Croisier, B. Desprechins, M.-A. Ferrara, P. Simoni, J.-F. Kaux. L'ostéochondrite disséquante. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2018 Mar;35(1):25-39.

B. Forthomme, C. Tooth, C. Schwartz, J.-F. Kaux, **F. Delvaux**, J.-L. Croisier. Dyskinésie scapulaire chez le sportif : faut-il la contrer ? *Journal de Traumatologie du Sport*. 2018 Oct;35(3):158-162.

J.-L. Croisier, **F. Delvaux**, J.-F. Kaux, B. Forthomme. L'isocinétisme : toujours d'actualité en prévention lésionnelle ? *Journal de Traumatologie du Sport*. 2018 Oct;35(3):182-185.

R. Collin, J.-L. Croisier, C. Daniel, **F. Delvaux**, B. Forthomme, J.-F. Kaux. Reprise des activités après chirurgie tendineuse : quels critères utiliser ? *Journal de Traumatologie du Sport*. 2018 Dec; 35(4):152-157.

F. Lehane, **F. Delvaux**, J.-L. Croisier, J.-F. Kaux. Reprise du sport après tendinopathie traitée par infiltration de PRP. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2019 Jan;36(1):28-33.

D. Sanfilippo, **F. Delvaux**, J.-L. Croisier, B. Forthomme, J.-F. Kaux. Approche des pathologies en triathlon. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2019 Sep;36(3):160-164.

S. Bethlen, S. Bornheim, **F. Delvaux**, L. Marquet, D. Pelzer, A. Neuprez, M.-P. Lecart, B. Maertens, F.-C. Wang, M. Tomasella, J.-L. Croisier, D. Servais, C. Göbbels, J.-F. Kaux. Innovations en médecine physique et réadaptation. *Revue Médicale de Liège*. 2020 Sep;75(5):445-451.

A Conchin, **F. Delvaux**, R. Radermecker, A. Neuprez, J.-L. Croisier, J.-F. Kaux. Impacts du sport de haut niveau sur le système locomoteur et endocrinien : état de la question. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2020 Sep;37(3):154-161.

C. Sauvante, **F. Delvaux**, C. Daniel, J.-L. Croisier, J.-F. Kaux. Les lésions partielles du ligament croisé antérieur. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2020 Dec;37(4):208-215.

Colloques et congrès scientifiques en lien avec la thèse

F. Delvaux, P. Rochcongar, J.-M. Ferret, J.-F. Kaux, J.-M. Crielaard, J.-L. Croisier. « La lésion musculaire des ischio-jambiers. » **41^{èmes} Entretiens de Médecine Physique et de Réadaptation**, 7 mars 2013, Montpellier.

F. Delvaux, P. Rochcongar, O. Bruyère, G. Bourlet, C. Daniel, P. Diverse, J.-Y. Reginster, J.-L. Croisier. « Return-to-play criteria after hamstring injury: actual medicine practice in professional soccer teams. » **1st Congress of the European College of Sport and Exercise Physicians**, 25 avril 2013, Frankfurt am Main.

F. Delvaux, P. Rochcongar, O. Bruyère, G. Bourlet, C. Daniel, P. Diverse, J.-Y. Reginster, J.-L. Croisier. « Return-to-play criteria after anterior cruciate ligament injury: actual medicine practice in professional soccer teams. » **XXV FIFA Medical Conference**, 9 avril 2016, Queen Elisabeth II Conference Centre, Londres.

F. Delvaux, J.-L. Croisier. « L'isocinétisme dans la prévention des lésions musculo-tendineuses et ligamentaires. » **17^{ème} Meeting de Médecine et Traumatologie du Sport**, 4 mars 2017, Liévin.

F. Delvaux, J.-L. Croisier. « Le point sur la prévention de blessures chez l'athlète de haut niveau. » **Colloque annuel du Centre d'Aide à la Performance Sportive**, 1^{er} décembre 2018, CHU Liège.

F. Delvaux, C. Schwartz, T. Decréquy, T. Devalckeneer, J. Paulus, S. Bornheim, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. « Influence of a field hamstring eccentric training on muscle strength and flexibility. » **XXVIII FIFA Medical Conference**, 28 avril 2019, Wembley Stadium, Londres.

F. Delvaux, J.-L. Croisier. « Return-to-play criteria after ACL reconstruction. » **6th congress of European College Of Sport and Exercise Physicians**, 29-30 novembre 2019, INSEP, Paris.

F. Delvaux, J.-L. Croisier. « Le point sur la prévention de blessures dans le football. » **Colloque Communauté des Entraîneurs Francophones de Football**, 2 décembre 2019, Université de Namur.

F. Delvaux, J.-L. Croisier. « Dans notre job d'entraîneur, que faisons-nous actuellement pour éviter les blessures ? » **Colloque Communauté des Entraîneurs Francophones de Football**, 2 décembre 2019, Université de Namur.

F. Delvaux, C. Tooth, A. Gofflot. « Prévention lésionnelle : plus que jamais d'actualité ! » **Webinaire du Centre d'Aide à la Performance Sportive**, 4 juin 2020, conférence online.

Colloques et congrès scientifiques divers

F. Delvaux, J.-L. Croisier. « Le préparateur physique : quel rôle dans la décision d'autoriser un sportif blessé à reprendre la compétition ? » **1^{er} Colloque Guy Namurois**, 22 février 2014, CHU Liège.

F. Delvaux, C. Daniel, M.-H. Namurois, C. Lehance, N. Vervaeke, G. Berwart, J.-L. Croisier. « La pubalgie – Rééducation post-chirurgicale. » **4^{ème} Colloque SPORTS²**, 22 octobre 2016, CHU Liège.

F. Delvaux, J.-L. Croisier, J.-F. Kaux. « La rééducation des tendinopathies : application avant et après infiltration de PRP. » **Symposium AXXON**, 14 octobre 2017, Marche-en-Famenne.

F. Delvaux, Y. Zahraoui, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. « Critères de reprise sportive après chirurgie pour instabilité de cheville. » **5^{ème} Colloque SPORTS²**, 21 octobre 2017, CHU Liège.

F. Delvaux, J.-L. Croisier, J.-F. Kaux. « Rééducation et reprise du sport après PRP – Contexte des lésions musculaires, ligamentaires et arthrose. » **Congrès SFMES-SFTS**, 30 mars 2018, INSEP, Paris.

F. Delvaux, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. « Approche non pharmacologique des tendinopathies du membre inférieur. » **Colloque BAMS – CRISTAL –SPORTS²**, 15 octobre 2019, CHU Liège.

F. Delvaux, B. Forthomme. « Prévention de blessures et triathlon. » **7^{ème} Colloque SPORTS²**, 19 octobre 2019, CHU Liège.

F. Delvaux, J.-L. Croisier. « Return-to-play process after hamstring muscle injury. » **6th congress of European College Of Sport and Exercise Physicians**, 29-30 novembre 2019, INSEP, Paris.

F. Delvaux, J.-F. Kaux, J.-L. Croisier. « Return-to-play after PRP injection for lower limb tendinopathy. » **6th congress of European College Of Sport and Exercise Physicians**, 29-30 novembre 2019, INSEP, Paris.

À propos de l'auteur



François Delvaux est né en 1979 en région liégeoise. Après avoir obtenu une licence en Éducation Physique puis une licence en Kinésithérapie et Réadaptation, il est engagé comme assistant au Département des Sciences de la Motricité de l'Université de Liège, où il est impliqué dans divers enseignements pratiques et théoriques de la kinésithérapie générale et sportive ainsi que de la prévention lésionnelle. Parallèlement, il mène une carrière de préparateur physique d'athlètes de haut niveau (badminton, handball) et de kinésithérapeute en pratique libérale. Il collabore également aux activités *Isocinétisme* et *Réathlétisation* de SportS², acronyme du Service Pluridisciplinaire d'Orthopédie, de Rééducation, de Traumatologie du Sport et de la Santé du Centre Hospitalier Universitaire de Liège.

ANNEXES

Annexe 1

**Questionnaire aux médecins sur les critères de retour à la
compétition après lésion musculaire des ischio-jambiers**

(étude 1)



Faculté de Médecine

Département des Sciences de la Motricité

Professeur J.L. CROISIER

A l'attention des Médecins de Clubs de football professionnels

Concerne : Questionnaire relatif aux critères de retour à la compétition après blessure chez le footballeur

L'objectif de ce travail consiste à réaliser un « état des lieux » des critères utilisés en pratique quotidienne par le Médecin de club professionnel afin d'autoriser un footballeur blessé à reprendre l'activité compétitive. Nous sollicitons votre participation à cette recherche en vous demandant de répondre à un questionnaire concernant deux pathologies régulièrement rencontrées dans le football : la déchirure des ischio-jambiers et la plastie du LCA. Nous insistons sur le fait que ce questionnaire doit être rempli en fonction de la réalité de terrain à laquelle vous êtes confrontés dans votre pratique quotidienne, et non pas selon une stratégie idéale théorique de retour à la compétition après blessure.

Les questionnaires complétés seront ensuite analysés de manière anonyme et confidentielle, et nous nous engageons à vous informer des conclusions de ce travail lorsque celui-ci sera finalisé. Cette étude représente un chapitre d'une thèse de Doctorat (F. Delvaux, sous la supervision du Prof. J.L. Croisier) relative à la prévention lésionnelle, menée actuellement au Département des Sciences de la Motricité de l'Université de Liège, Belgique.

En vous remerciant vivement de votre collaboration et restant à votre entière disposition pour tout renseignement complémentaire, nous vous prions de croire en l'assurance de nos sentiments les meilleurs.

François DELVAUX

Prof. J.L. CROISIER

I. Lésion musculaire des ischio-jambiers

A. Dans votre pratique quotidienne, utilisez-vous les critères suivants pour déterminer si un joueur de football, en fin de rééducation après lésion des ischio-jambiers, est apte à reprendre la compétition ? (Pour chacun des 14 items, veuillez cocher d'abord si **OUI ou **NON** vous utilisez ce critère, et répondre aux éventuelles questions s'y rapportant).**

1) Respect d'une durée **théorique** d'arrêt compétitif ☐ **OUI** - ☐ **NON**

2) Sensations subjectives du joueur ☐ **OUI** - ☐ **NON**

3) Disparition totale des douleurs

❖ Rapportées par le joueur : ☐ **OUI** - ☐ **NON**
❖ À l'examen clinique : ☐ **OUI** - ☐ **NON**

4) Imagerie médicale

❖ Echographie : ☐ **OUI** - ☐ **NON**
❖ RMN : ☐ **OUI** - ☐ **NON**

5) Souplesse musculaire ☐ **OUI** - ☐ **NON**

→ **Si oui**, quelle(s) épreuve(s) utilisez-vous ?
Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)
☐ Flexion passive de hanche avec genou en extension
☐ Sit and reach test
☐ Autre(s) :

6) Evaluation de la performance musculaire (force) ☐ **OUI** - ☐ **NON**

→ **Si non**, pour quelle(s) raison(s) ?
Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)
☐ Manque d'intérêt
☐ Manque de matériel adéquat
☐ Autre(s) :

→ **Si oui,**

- ❖ Quel(s) type(s) d'évaluation utilisez-vous ?

☛ Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)

- ☐ Testing manuel
- ☐ Appareil de musculation dynamique type salle fitness
- ☐ Isocinétisme
- ☐ Autre(s) :

- ❖ Quel(s) groupe(s) musculaire(s) évaluez-vous, et selon quel(s) mode(s) de contraction?

☛ Cochez d'une ou plusieurs croix la/les case(s) correspondante(s)

	<i>Isométrique</i>	<i>Concentrique</i>	<i>Excentrique</i>
Quadriceps			
I/J			

- ❖ Sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que la force musculaire est acceptable ?

☛ Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)

- ☐ Sensations subjectives du joueur
- ☐ Comparaison à une moyenne de l'équipe
- ☐ Comparaison avec des tests réalisés par le même joueur avant la blessure (ex. début de saison), avec une différence maximale de : <5% - 10% - 15% - 20% - 25% - >30%

☛ Entourez le % que vous estimez acceptable

- ☐ Différence bilatérale maximale entre côté sain et côté lésé de : <5% - 10% - 15% - 20% - 25% - >30%

Entourez le % que vous estimez acceptable

- ☐ Equilibre de force entre muscles agonistes et antagonistes (ex : ratio IJ/Q)
- ☐ Autre(s) :

7) Test fonctionnel général

☐ OUI - ☐ NON→ **Si oui,**

- ❖ Quel(s) test(s) ?

☛ Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)

- ☐ Saut en longueur unilatéral sans élan
- ☐ Saut vertical unilatéral
- ☐ Autre(s) :

- ❖ Sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que le résultat au(x) test(s) est acceptable ?

☛ Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)

- ☐ Sensations subjectives du joueur
- ☐ Comparaison à une moyenne de l'équipe

- ☐ Comparaison avec des tests réalisés par le même joueur avant la blessure (ex. début de saison), avec une différence maximale de : ☐ <5% ☐ 10% ☐ 15% ☐ 20% ☐ 25% ☐ >30%
- ☛ **Entourez le % que vous estimez acceptable**
- ☐ Différence bilatérale maximale entre côté sain et côté lésé de : ☐ <5% ☐ 10% ☐ 15% ☐ 20% ☐ 25% ☐ >30%
- Entourez le % que vous estimez acceptable**
- ☐ Autre(s) :

8) Test spécifique au football

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui,**

- ❖ Quel(s) test(s) ?
- ☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**
- ☐ Parcours dribble de cônes
- ☐ Sprint 10m
- ☐ Autre(s) :
- ❖ Sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que le résultat au(x) test(s) est acceptable ?
- ☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**
- ☐ Comparaison avec des tests réalisés par le même joueur avant la blessure (ex. début de saison)
- ☐ Comparaison à une moyenne de l'équipe
- ☐ Sensations personnelles du joueur
- ☐ Autre(s) :

9) Test proprioceptif

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui,** quel(s) test(s) ?

- ☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**
- ☐ One-leg balance test
- ☐ Utilisation de matériel spécifique :
- ☐ Autre(s) :

10) Analyse de la course :

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui,** de quelle manière analysez-vous la course ?

- ☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**
- ☐ Observation visuelle
- ☐ Utilisation de matériel spécifique :
- ☐ Autre(s) :

11) Analyse EMG de l'activité fonctionnelle (durant la course ou un exercice de football) des quadriceps et ischio-jambiers	<input type="checkbox"/> OUI - <input type="checkbox"/> NON
---	---

12) Correction d'éventuels problèmes iliaques – sacraux – lombaires	<input type="checkbox"/> OUI - <input type="checkbox"/> NON
---	---

13) Condition physique générale (ex : VO ² Max)	<input type="checkbox"/> OUI - <input type="checkbox"/> NON
--	---

14) Autre(s) critère(s)	<input type="checkbox"/> OUI - <input type="checkbox"/> NON
-------------------------	---

.....

.....

.....

B. Nous vous demandons maintenant de classer de 1 à 14 les critères précédents en fonction de l'importance que vous leur accordez dans votre pratique quotidienne : 1 = selon vous, le critère le plus important pour déterminer si le joueur est apte à reprendre la compétition ; 14 = le critère le moins important.

Critère	Classement
Respect d'une durée théorique d'arrêt compétitif	
Sensations subjectives du joueur	
Disparition totale des douleurs	
Imagerie médicale	
Souplesse musculaire	
Force musculaire	
Test fonctionnel global	
Test spécifique au football	
Test proprioceptif	
Analyse de la course	
Analyse EMG	
Correction problèmes iliaque – sacrum - lombaire	
Condition physique générale	
Autre :.....	

C. Dans votre de décision d'autoriser le joueur à reprendre la compétition, tenez-vous compte de l'avis des intervenants suivants : (cochez d'une croix votre/vos réponse(s))

- ☐ Kinésithérapeute
- ☐ Préparateur physique
- ☐ Entraîneur de terrain principal
- ☐ Autre(s) intervenant(s) :

.....

D. Pour clôturer ce questionnaire, nous vous demandons de répondre à ces trois dernières questions d'informations générales en cochant d'une croix votre réponse.

- Quel âge avez-vous ?
 - ☐ 25-30 ans
 - ☐ 30-35 ans
 - ☐ 35-40 ans
 - ☐ 40-45 ans
 - ☐ 45-50 ans
 - ☐ 50-55 ans
 - ☐ 55-60 ans
 - ☐ 60-65 ans
 - ☐ >65 ans

- Depuis combien d'années travaillez-vous comme Médecin dans un club de football professionnel ?
 - ☐ 0-2 ans
 - ☐ 3-4 ans
 - ☐ 5-6 ans
 - ☐ 7-8 ans
 - ☐ 9-10 ans
 - ☐ 11-12 ans
 - ☐ 13-14 ans
 - ☐ 15 ans ou plus

- Quelle est votre spécialisation ?
 - ☐ Médecine générale
 - ☐ Médecine sportive
 - ☐ Médecine Physique et Réadaptation
 - ☐ Chirurgie orthopédique
 - ☐ Autre :

E. Avis complémentaire – Remarques éventuelles

.....

.....

.....

.....

Annexe 2

**Questionnaire aux médecins sur les critères de retour à la
compétition après plastie du ligament croisé antérieur**

(étude 2)

II. Plastie LCA

A. Dans votre pratique quotidienne, utilisez-vous les critères suivants pour déterminer si un joueur de football, en fin de rééducation après ligamentoplastie du LCA, est apte à reprendre la compétition ? (Pour chacun des 18 items, veuillez d'abord cocher si **OUI** ou **NON** vous utilisez ce critère, et répondre ensuite aux éventuelles questions s'y rapportant).

4) Respect d'une durée **théorique** d'arrêt compétitif ☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui,**

❖ Quelle durée respectez-vous **avant le retour compétitif** ?

☛ **Cochez d'une croix votre réponse**

- ☐ 4 mois
- ☐ 5 mois
- ☐ 6 mois
- ☐ 7 mois
- ☐ 8 mois ou plus

2) Sensations subjectives du joueur ☐ OUI - ☐ NON

3) Disparition totale des douleurs

- ❖ Rapportées par le joueur : ☐ OUI - ☐ NON
- ❖ À l'examen clinique : ☐ OUI - ☐ NON

4) Disparition totale de l'œdème ☐ OUI - ☐ NON

5) Imagerie médicale ☐ OUI - ☐ NON

6) Amplitude complète de flexion et extension de genou ☐ OUI - ☐ NON

→ **Si non,** quel déficit maximal tolérez-vous ?

☛ **Entourez la réponse de votre choix**

❖ **Flexion** : 0° - 5° - 10° - 15° - >20°

❖ **Extension** : 0° - 5° - 10° - >15°

7) Souplesse musculaire ☐ OUI - ☐ NON

8) Laxité du genou : absence de tiroir antérieur

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui**, quelle(s) épreuve(s) utilisez-vous ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Testing manuel
- ☐ Testing via matériel spécifique (ex. : KT1000)
- ☐ Autre(s) :

9) Stabilité dynamique du genou lors de gestes spécifiques (ex : course avec changements de direction)

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui**, sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que le genou est stable ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Sensations subjectives du joueur
- ☐ Observation visuelle de l'examineur
- ☐ Autre(s) :

10) Evaluation de la performance musculaire (force)

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si non**, pour quelle raison ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Manque d'intérêt
- ☐ Manque de matériel adéquat
- ☐ Autre(s) :

→ **Si oui**,

❖ Quel(s) type(s) d'évaluation utilisez-vous ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Testing manuel
- ☐ Appareil de musculation dynamique type salle fitness
- ☐ Isocinétisme
- ☐ Autre(s) :

❖ Quel(s) groupe(s) musculaire(s) évaluez-vous, et selon quel(s) mode(s) de contraction ?

☛ **Cochez d'une croix la/les case(s) correspondante(s)**

	Isométrique	Concentrique	Excentrique
Quadriceps			
I/J			
Triceps sural			

❖ Sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que la force musculaire est acceptable ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Sensations subjectives du joueur
- ☐ Comparaison à une moyenne de l'équipe

- ☐ Comparaison avec des tests antérieurs à la blessure (réalisés par le même joueur), avec une différence maximale de : ☐ <5% ☐ 10% ☐ 15% ☐ 20% ☐ 25% ☐ >30%
☒ **Entourez le % que vous estimez acceptable**
- ☐ Différence bilatérale maximale entre côté sain et côté lésé de : ☐ <5% ☐ 10% ☐ 15% ☐ 20% ☐ 25% ☐ >30%
☒ **Entourez le % que vous estimez acceptable**
- ☐ Equilibre de force entre muscles agonistes et antagonistes (ex : ratio IJ/Q)
- ☐ Autre(s) :

11) Test fonctionnel général

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui,**

- ❖ Quel(s) test(s) ?
☒ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**
 - ☐ Saut en longueur unilatéral sans élan
 - ☐ Saut vertical unilatéral
 - ☐ Autre(s) :
- ❖ Sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que le résultat au(x) test(s) est acceptable ?
(Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s))
 - ☐ Sensations subjectives du joueur
 - ☐ Comparaison à une moyenne de l'équipe
 - ☐ Comparaison avec des tests antérieurs à la blessure (réalisés par le même joueur), avec une différence maximale de : ☐ <5% ☐ 10% ☐ 15% ☐ 20% ☐ 25% ☐ >30%
☒ **Entourez le % que vous estimez acceptable**
 - ☐ Différence bilatérale maximale entre côté sain et côté lésé de : ☐ <5% ☐ 10% ☐ 15% ☐ 20% ☐ 25% ☐ >30%
☒ **Entourez le % que vous estimez acceptable**
 - ☐ Autre(s) :

12) Test spécifique au football (ex : parcours dribble de cônes) ☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui,**

- ❖ Quel(s) test(s) ?
☒ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**
 - ☐ Parcours dribble de cônes
 - ☐ Sprint 10m
 - ☐ Autre(s) :

- ❖ Sur quel élément vous basez-vous pour déterminer que le résultat au(x) test(s) est acceptable ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Comparaison aux résultats du même joueur à des tests antérieurs à la blessure
☐ Comparaison à une moyenne de l'équipe
☐ Sensations personnelles du joueur
☐ Autre(s) :

13) Test proprioceptif

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui**, quel(s) test(s) ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ One-leg balance test
☐ Utilisation de matériel spécifique :
☐ Autre(s) :

14) Analyse de la course :

☐ OUI - ☐ NON

→ **Si oui**, de quelle manière analysez-vous la course ?

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Observation visuelle
☐ Utilisation de matériel spécifique :
☐ Autre(s) :

15) Facteurs de type morphologique (ex : pronation excessive du pied, valgus genou, ...) et correction éventuelle

☐ OUI - ☐ NON

16) Analyse EMG de l'activité fonctionnelle (durant la course ou un exercice de football) des quadriceps et ischio-jambiers

☐ OUI - ☐ NON

17) Condition physique générale (ex : VO₂Max)

- ❖ Test de laboratoire

☐ OUI - ☐ NON

- ❖ Test de terrain

☐ OUI - ☐ NON

18) Autre(s) critère(s)

☐ OUI - ☐ NON

.....

B. Nous vous demandons maintenant de classer de 1 à 18 les critères précédents en fonction de l'importance que vous leur accordez dans votre pratique quotidienne : 1 = votre critère le plus important pour déterminer si le joueur est apte à reprendre la compétition ; 18 = votre critère le moins important.

Critère	Classement
Respect d'une durée théorique d'arrêt compétitif	
Sensations subjectives du joueur	
Disparition totale des douleurs	
Disparition totale de l'œdème	
Imagerie médicale	
Amplitudes de flexion et extension de genou	
Souplesse musculaire	
Absence de laxité du genou	
Stabilité dynamique du genou	
Force musculaire	
Test fonctionnel global	
Test spécifique au football	
Test proprioceptif	
Analyse de la course	
Facteurs morphologiques et correction éventuelle	
Analyse EMG de l'activité fonctionnelle	
Condition physique générale	
Autre :	

C. Dans votre de décision d'autoriser le joueur à reprendre la compétition, tenez-vous compte de l'avis des intervenants suivants :

☛ **Cochez d'une ou plusieurs croix votre/vos réponse(s)**

- ☐ Kinésithérapeute
- ☐ Préparateur physique
- ☐ Entraîneur de terrain principal
- ☐ Autre(s) intervenant(s) :

D. Pour clôturer ce questionnaire, nous vous demandons de répondre à ces trois dernières questions d'informations générales en cochant d'une croix votre réponse.

- Quel âge avez-vous ?
 - ☐ 25-30 ans
 - ☐ 30-35 ans
 - ☐ 35-40 ans
 - ☐ 40-45 ans
 - ☐ 45-50 ans
 - ☐ 50-55 ans
 - ☐ 55-60 ans
 - ☐ 60-65 ans
 - ☐ >65 ans

- Depuis combien d'années travaillez-vous comme Médecin dans un club de football ?
 - ☐ 0-2 ans
 - ☐ 3-4 ans
 - ☐ 5-6 ans
 - ☐ 7-8 ans
 - ☐ 9-10 ans
 - ☐ 11-12 ans
 - ☐ 13-14 ans
 - ☐ 15 ans ou plus

- Quelle est votre spécialisation ?
 - ☐ Médecine générale
 - ☐ Médecine sportive
 - ☐ Médecine Physique et Réadaptation
 - ☐ Chirurgie orthopédique
 - ☐ Autre :

E. Avis complémentaire – Remarques éventuelles

.....

.....

.....

.....

Annexe 3

**Questionnaire relatif aux stratégies de prévention de blessures mises
en place par les entraîneurs de football**

(étude 3)



**« Dans notre job d'entraîneur de football, que faisons-nous
actuellement pour éviter les blessures ? »**

1. Selon vous, l'entraîneur de football doit-il contribuer à la prévention des blessures (de l'appareil locomoteur : muscles, tendons, articulations) ?

OUI-NON

2. Concrètement, appliquez-vous des mesures préventives (pour le risque de blessures de l'appareil locomoteur) sur le terrain ? **OUI – NON**

➔ Si **NON**, pourquoi ? (Plusieurs réponses sont possibles)

- ☐ Je ne pense pas qu'on puisse beaucoup éviter les blessures, quelles que soient les mesures mises en place
- ☐ Je ne m'y connais pas assez, je ne sais pas ce que je peux concrètement réaliser comme action préventive
- ☐ Durant l'entraînement, ça me fait perdre du temps sur le travail technico-tactique ou physique qui est plus important
- ☐ Je manque d'infrastructures et/ou de matériel

Autre(s) raison(s)

.....

➔ Si **OUI**,

- a. Quelles mesures appliquez-vous ? (Plusieurs réponses sont possibles)

- ☐ Échauffement structuré

☐ Étirements

➔ Si oui, quels muscles principaux étirez-vous ?

.....

☐ Renforcement musculaire

➔ Si oui, quels muscles principaux renforcez-vous ?

.....

☐ Exercices d'équilibre

☐ Exercices de gainage

☐ Exercices de technique de course et de sauts

☐ Autre(s) :

.....

b. Appliquez-vous les mêmes exercices pour tous vos joueurs/joueuses ou bien individualisez-vous les exercices pour chacun ?

☐ Même programme pour tous

☐ Programme différent par petits groupes

☐ Programme adapté pour chaque individu sur base d'évaluation(s) préalable(s)

3. Connaissez-vous un des *programmes FIFA 11* pour prévenir les blessures ?

OUI – NON

➔ Si **OUI**, en avez-vous déjà appliqué un durant vos entraînements ? OUI – NON

- Si NON, pourquoi ne l'avoir jamais appliqué ?

.....

.....

- Si OUI, à quelle fréquence l'appliquez-vous ?

- 0 à 25% des entraînements
- 26 à 50% des entraînements
- 51 à 75% des entraînements
- Plus de 75% des entraînements

4. Connaissez-vous d'autres programmes de prévention de blessures que les *programmes FIFA 11* ? **OUI – NON**

➔ Si **OUI**, le(s)quel(s) ?

.....

5. Donnez-vous à vos joueurs/joueuses des conseils à appliquer en dehors des sessions d'entraînement ? **OUI - NON**

➔ Si **OUI**, lesquels ? (Plusieurs réponses sont possibles)

- ☐ Conseils sur le choix de leur équipement
- ☐ Conseils d'hygiène de vie (sommeil, alimentation, ...)
- ☐ Conseils de mise en condition physique
- ☐ Autre(s) :

.....

6. Estimez-vous que vous êtes suffisamment formés en termes de prévention de blessures ? **OUI – NON**

➔ Si **NON**, quel(s) serai(en)t le(s) meilleur(s) moyen(s) pour améliorer selon vous votre formation ? (Plusieurs réponses sont possibles)

- ☐ Développer plus cette thématique lors des cours d'entraîneurs
- ☐ Proposer des formation continues sur cette thématique
- ☐ Consacrer un ou plusieurs colloques d'entraîneurs sur le sujet
- ☐ Autre(s) :

.....

Pour clôturer ce questionnaire, nous vous demandons de répondre à ces questions d'informations générales
(pour rappel : ce questionnaire est entièrement anonyme)

- Quel âge avez-vous ?
 - ☐ <20 ans
 - ☐ 21-25 ans
 - ☐ 26-30 ans
 - ☐ 31-35 ans
 - ☐ 36-40 ans
 - ☐ 41-45 ans
 - ☐ 46-50 ans
 - ☐ 51-55 ans
 - ☐ 56-60 ans
 - ☐ 61-65 ans
 - ☐ >65 ans
- Depuis combien d'années entraînez-vous une équipe de football ?
 - ☐ 0-3 ans
 - ☐ 4-6 ans
 - ☐ 7-9 ans
 - ☐ 10-12 ans
 - ☐ 13-16 ans
 - ☐ 17-19 ans
 - ☐ 20 ans ou plus
- Quel niveau de formation d'entraîneur (diplôme) possédez-vous ?
 - ☐ Animateur Brevet C
 - ☐ Initiateur Brevet B
 - ☐ Educateur UEFA B
 - ☐ Brevet A – Brevet A Elite youth
 - ☐ Entraîneur UEFA A -UEFA A Elite Youth
 - ☐ Autre :

- Au total, entraînez-vous plusieurs équipes ? OUI – NON
Si OUI, combien ?

- Combien de séances hebdomadaires de football encadrez-vous pour chacune de vos équipes (si vous n'entraînez qu'une seule équipe, ne remplissez que la première ligne) ?
 - ☐ Équipe 1 : 1X/sem – 2X/sem – 3X/sem – 4X/sem – 5X/sem - >5X/sem
 - ☐ Équipe 2 : 1X/sem – 2X/sem – 3X/sem – 4X/sem – 5X/sem - >5X/sem
 - ☐ Équipe 3 : 1X/sem – 2X/sem – 3X/sem – 4X/sem – 5X/sem - >5X/sem
 - ☐ Équipe 4 : 1X/sem – 2X/sem – 3X/sem – 4X/sem – 5X/sem - >5X/sem
 - ☐ Équipe 5 : 1X/sem – 2X/sem – 3X/sem – 4X/sem – 5X/sem - >5X/sem

- Quelle(s) population(s) entraînez-vous ?
 - ☐ Garçons uniquement
 - ☐ Filles uniquement
 - ☐ Garçons et filles
 - ➔ Si vous entraînez des jeunes uniquement :

Dans quelle(s) catégorie(s) d'âge :

Dans quel(s) niveau(x) ?

 - ☐ **Jeunes en centre de formation Foot élites Etude**
 - ☐ **Jeunes en centre de formation d'un club Elite (1 ou 2)**
 - ☐ **Jeunes en centre de formation d'un club ACFF non labellisé**
 - ☐ **Jeunes en centre de formation d'un club ACFF***
 - ☐ **Jeunes en centre de formation d'un club ACFF label ***
 - ☐ **Jeunes en centre de formation d'un club ACFF label ****
 - ☐ **Jeunes en centre de formation d'un club ACFF label *****
 - ☐ **Autre(s) :**
 - ☐ Adultes femmes uniquement
 - ☐ Adultes hommes uniquement

- Quel niveau de jeu présente(nt) votre (vos) équipe(s) ?
 - ☐ Amateurs :
 - ☐ Professionnels :

Avez-vous des remarques ou commentaires éventuels ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....